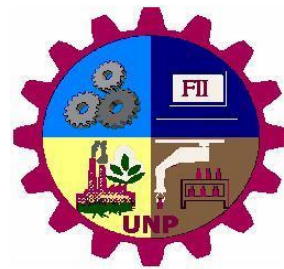


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIAL**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA INDUSTRIAL**



**“ESTUDIO DE LA GENERACION DE ACEITES USADOS EN LOS  
DIFERENTES ESTABLECIMIENTOS DE COMIDA Y SU  
REUTILIZACION INDUSTRIAL”**

**LINEA DE INVESTIGACION: PROYECTOS INDUSTRIALES**

---

**PRESENTADO POR:**

**BACH. HUGO DAWIS REYES VARGAS**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO  
INDUSTRIAL**

**PIURA- PERÚ**

**2018**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIAL**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA INDUSTRIAL**



**PROYECTO DE TESIS**

**“ESTUDIO DE LA GENERACION DE ACEITES USADOS EN LOS  
DIFERENTES ESTABLECIMIENTOS DE COMIDA Y SU  
REUTILIZACION INDUSTRIAL”**

**ASESOR:**

**DR. JOSÉ FEDERICO BAZÁN CORREA**

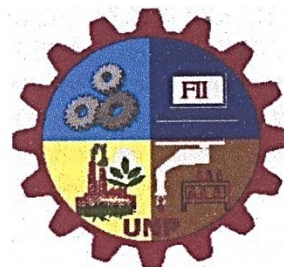
**TESISTA:**

**BACH. HUGO DAWIS REYES VARGAS**

**PIURA- PERÚ**

**2018**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIAL**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA INDUSTRIAL**



**“ESTUDIO DE LA GENERACION DE ACEITES USADOS EN LOS  
DIFERENTES ESTABLECIMIENTOS DE COMIDA Y SU  
REUTILIZACION INDUSTRIAL”**

---

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO  
INDUSTRIAL**

**JURADO**

**PRESIDENTE**

**Dr. ALFREDO LAZARO LUDENÑA GUTIERREZ**

  
.....

**VOCAL**

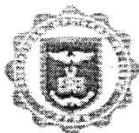
**Dr. JULIO CESAR JIMENEZ CHAVESTA**

  
.....

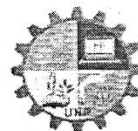
**SECRETARIO**

**MSc. CARLOS ENRIQUE COELLO OBALLE**

  
.....



## ACTA DE EVALUACIÓN DE TESIS



### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado Calificador de la Tesis denominada: «ESTUDIO DE LA GENERACION DE ACEITES USADOS EN LOS DIFERENTES ESTABLECIMIENTOS DE COMIDA DE LA CUIDAD DE PIURA Y SU REUTILIZACIÓN INDUSTRIAL», presentado por **HUGO DAWIS REYES VARGAS** Alumno de la Escuela profesional en **INGENIERÍA INDUSTRIAL** asesorado por el **Dr. JOSÉ FEDERICO BAZÁN CORREA**, Reunidos para la sustentación de ésta y luego de escuchar su exposición y las respuestas a las preguntas formuladas, la declaran:



Con el Calificativo:

APROBADA

MUY BUENO

En consecuencia el sustentante se encuentra **apto** para recibir el título profesional de **INGENIERO INDUSTRIAL** conforme a Ley.

PIURA, 04 de Julio del 2018

Dr. ALFREDO LÁZARO LUDENA GUTIÉRREZ  
PRESIDENTE - JURADO CALIFICADOR

MSc. CARLOS ENRIQUE COELLO OBALLE  
SECRETARIO - JURADO CALIFICADOR

Dr. JULIO CESAR JIMÉNEZ CHAVESTA  
VOCAL - JURADO CALIFICADOR

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis de manera muy especial a mi madre Mercedes Vargas Garrido, por su esmerada dedicación y por permitirme haber concluido mi formación profesional, y demostrarme siempre su apoyo incondicional.

Hugo Dawis Reyes Vargas

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi agradecimiento de manera especial, al DR Bazan Correa asesor de esta tesis, y a todas aquellas personas que de una u otra manera contribuyeron para la conclusión de esta tesis.

**Gracias**

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi agradecimiento de manera especial, a Ingrid Jackeline Riveros Ruiz  
Por su apoyo incondicional en la vida universitaria, desde el inicio de  
la presentación del anteproyecto hasta la culminación de esta tesis. Y  
por su confianza brindada a mi persona.

**Gracias**

## RESUMEN

El presente proyecto de tesis, trata sobre el estudio de la generación de aceites vegetales usados, en los diferentes establecimientos de comida en el distrito de Piura y propone dos estrategias de reutilización industrial, que son la producción de BIODIESEL y JABÓN GEL para manos.

El número de establecimientos de comida en estudio fueron 90, de las cuales los porcentajes que representan son: comedores (51%), restaurantes (23%), pollerías (14%), chifas (9%) y otros (3%). La ficha rápida de la encuesta aplicada para la toma de información se indica en el cuadro 8.

De acuerdo al estudio en el distrito de Piura se generan 340.30 (Litros/día) de AVU, siendo las pollerías el establecimiento de mayor generación con un promedio de 123.73 (Litros/día), seguido de los chifas con un 107.54 (Litros/día).

Sobre la preferencia del tipo de marca de los aceites vegetales, por parte de los establecimientos de comida, el aceite vegetal SAO ocupa el primer lugar con un 27.8%, seguido de IDEAL con un 22.2%.

El software GRAFOS nos permitió un análisis exhaustivo de todas las posibles rutas existentes. Se ingresó cada uno de los puntos de recolección al programa para determinar las distancias de los arcos de conexión entre puntos. El plano de Piura fue obtenido desde internet buscando con google: Mapa satelital de Piura.

De acuerdo al estudio económico, el costo de inversión para la producción de biodiesel a partir de los AVUS es de \$ 11650.00; mientras que para la producción de jabón gel es \$ 10048.40.

***Palabras claves:*** AVU, biodiesel, jabón gel, aceites usados



## ABSTRACT

This thesis project deals with the study of the generation of used vegetable oils in the different food establishments in the district of Piura and proposes two strategies of industrial reuse, which are the production of BIODIESEL and SOAP GEL for hands.

The number of food establishments under study was 90, of which the percentages represented are: canteens (51%), restaurants (23%), poultry shops (14%), chifas (9%) and others (3%). The quick tab of the survey applied for the taking of information is indicated in table 8.

According to the study in the district of Piura 340.30 (Liters / day) of AVU are generated, being the poultry the establishment of greater generation with an average of 123.73 (Liters / day), followed of the chifas with 107.54 (Liters / day).

Regarding the preference of the type of mark of the vegetable oils, by the food establishments, vegetable oil SAO occupies the first place with 27.8%, followed by IDEAL with 22.2%.

The GRAFOS software provided us with an exhaustive analysis of all possible routes. Each of the collection points was entered into the program to determine the distances of the connecting arcs between points. The map of Piura was obtained from the internet by searching with google: Satellite map of Piura.

According to the economic study, the cost of investment for the production of biodiesel from the AVUS is \$ 11650.00; While for the production of soap gel is \$ 10048.40.

**Keywords:** AVU, biodiesel, soap gel, waste oils

## INDICE GENERAL

## **CAPÍTULO I**

### **1. INTRODUCCIÓN**

#### **1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

#### **1.2 JUSTIFICACIÓN**

#### **1.3 OBJETIVOS**

1.3.1 Objetivo General

1.3.2 Objetivos Específicos

#### **1.4 HIPÓTESIS**

1.4.1 Hipótesis General

1.4.2 Hipótesis Secundarias

## **CAPITULO II**

### **2. MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 LOS ACEITES VEGETALES**

2.1.1 Fuentes de aceite vegetal

2.1.2 Propiedades y Composición del Aceite Vegetal antes del proceso de frituras.

#### **2.2 ACEITE VEGETAL PARA FRITRAS**

2.2.1 Cocción Segura del Aceite

2.2.2 Cuando Cambiar el Aceite

2.2.3 Entre la Sartén o la Freidora

2.2.4 Características Fisicoquímicas del Aceite Usado de Cocina

#### **2.3 REACCIONES DE OXIDACIÓN DE LOS ACEITES VEGETALES EN EL PROCESO DE FRITURAS.**

2.3.1 Ácidos Grasos Libre

2.3.2 Compuestos de Oxidación Primaria

2.3.3 Compuestos No Volátiles de Oxidación Secundaria

2.3.4 Compuestos Volátiles de Oxidación Secundaria

2.3.5 Monómeros Cíclicos de los Ácidos Grasos

2.3.6 Dímeros y Polímeros de los Triacilgliceroles

2.3.6.1 Dímeros Apolares

2.3.6.2 Dímeros Polares

#### **2.4 APLICACIONES DE LOS ACEITES VEGETALES USADOS (AVU).**

- 2.4.1 Aplicación en la Producción de Piensos Animales.
- 2.4.2 Aplicación para la obtención de Biodiésel
  - 2.4.2.1 El Biodiesel
  - 2.4.2.2 Proceso de obtención del Biodiesel
  - 2.4.2.3 La Trans-Esterificación
  - 2.4.2.4 Características Fisicoquímicos del Biodiesel según Norma ASTM
  - 2.4.2.5 Contaminantes del Biodiesel BD100
  - 2.4.2.6 Ventajas y Desventajas del Biodiesel BD100
- 2.4.3 Aplicación para la obtención de Jabón Gel para manos
  - 2.4.3.1 El Jabón
  - 2.4.3.2 Tipos de Jabones
  - 2.4.3.3 Fuentes de obtención de Jabones
  - 2.4.3.4 El proceso de Fabricación del Jabón
  - 2.4.3.5 Métodos de obtención del Jabón
  - 2.4.3.6 Diversas aplicaciones del Jabón
  - 2.4.3.7 Algunas Determinaciones Analíticas
- 2.4.4 Otras Aplicaciones
- 2.5 **IMPACTO AL MEDIO AMBIENTE POR ACEITES VEGETALES USADOS**
- 2.6 **ALMACENAJE Y CONSERVACIÓN DEL ACEITE VEGETAL USADO**

### **CAPÍTULO III**

- 3. **ESTUDIO Y GESTIÓN DE LOS ACEITES VEGETALES USADOS (AVU)**
  - 3.1 **ZONIFICACIÓN**
  - 3.2 **GESTIÓN DE LOS ACEITES VEGETALES USADOS**
    - 3.2.1 Origen
    - 3.2.2 Variaciones en la generación de AVU
    - 3.2.3 Reducción de la Fuente
    - 3.2.4 Fases del Manejo de Aceite Vegetal Usado
      - 3.2.4.1 Ruta Óptima de Recolección de AVU
    - 3.2.5 Disposición Final de los AVU por los diferentes establecimientos de comida
    - 3.2.6 Recursos Humanos para la Gestión del AVU
    - 3.2.7 Aplicación de las TRES R
    - 3.2.8 Producción Estimada de Biodiesel

- 3.2.9 Marco Legal
- 3.2.10 Características fisicoquímicas de una muestra de AVU de la marca de aceite vegetal SAO.

## **CAPÍTULO IV**

### **4. INDUSTRIALIZACIÓN DEL ACEITE VEGETAL USADO**

#### **4.1 PRODUCCIÓN DE BIODIESEL**

- 4.1.1 Planta piloto para la utilización de Aceites Vegetales Usados
- 4.1.2 Construcción de la Planta Experimental
- 4.1.3 Insumos Químicos
- 4.1.4 Solución Reactiva
- 4.1.5 Procesos para la Producción de Biodiesel
  - 4.1.5.1 Pre-tratamiento del AVU
  - 4.1.5.2 Trans-esterificación
  - 4.1.5.3 Control de Calidad del Proceso de Trans-esterificación
  - 4.1.5.4 Tratamiento Posterior del Biodiesel (Lavado, Secado y Filtrado)
- 4.1.6 Tanque Decantador y Tanque Lavador
- 4.1.7 Esquema del Proceso de Producción de Biodiesel planteada
- 4.1.8 Seguridad Industrial
  - 4.1.8.1 Manejo de Insumos Químicos
  - 4.1.8.2 Equipos de Protección Personal (EPP)
- 4.1.9 Análisis de rentabilidad
  - 4.1.9.1 Costo de inversión

#### **4.2 PRODUCCIÓN DE JABÓN GEL PARA MANOS**

- 4.2.1 Cantidad de Unidades a producir.
- 4.2.2 Evaluación económica para la industrialización de jabón gel para manos
  - 4.2.2.1 Costos
  - 4.2.2.2 Punto de equilibrio
  - 4.2.2.3 Herramientas para evaluar la rentabilidad del proyecto

#### **4.3 OTRA ALTERNATIVA DE USO DE LOS AVU. LA FABRICACIÓN DE JABÓN LÍQUIDO.**

- 4.3.1 Diagrama de bloques y Flujo del proceso
- 4.3.2 Reacción de saponificación
  - 4.3.2.1 Reactor de saponificación

- 4.3.2.2 Mezclador de disolución de KOH
- 4.3.2.3 Unidad de Osmosis inversa
- 4.3.3 Tanque de almacenamiento de jabón líquido
- 4.3.4 Control de Calidad del jabón líquido obtenido
- 4.3.5 Envasadora, Etiquetadora y Taponadora.

## **CAPÍTULO V**

### **5.1 CONCLUSIONES**

### **5.2 RECOMENDACIONES**

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

### **ANEXOS**

## **INDICE DE CUADROS**

- Cuadro N°1.** Principales características fisicoquímicas de algunos aceites y grasas.
- Cuadro N°2.** Composición (%) de los ácidos grasos mayores de los aceites más utilizados en frituras.
- Cuadro N°3.** Principales grupos de compuestos formados en los aceites y grasas durante el Proceso de frituras.
- Cuadro N°4.** Componentes volátiles (%) más abundantes, originados en la oxidación de aceites vegetales.
- Cuadro N°5.** Esquema General para la Producción de Biodiesel.
- Cuadro N°6.** Principales Materias Primas para la producción de Biodiesel.
- Cuadro N°7.** Características fisicoquímicas del Biodiesel.
- Cuadro N°8.** Formato de encuesta aplicado a los diferentes tipos de establecimientos.
- Cuadro N°9.** Composición media del Jabón Líquido producido.
- Cuadro N°10.** Características del Reactor Químico.
- Cuadro N°11.** Características de la reacción de saponificación.
- Cuadro N°12.** Características del agitador del reactor.
- Cuadro N°13.** Características de la camisa de calefacción.
- Cuadro N°14.** Características del mezclador de disolución.
- Cuadro N°15.** Características del agitador del mezclador de disolución de KOH.
- Cuadro N°16.** Características del tanque del jabón líquido.

## **INDICE DE FIGURAS**

- Figura N°1.** Aceite de oliva.
- Figura N°2.** Aceite de girasol.
- Figura N°3.** El maíz.
- Figura N°4.** Las nueces.
- Figura N°5.** Alteración hidrólica.
- Figura N°6.** Escisión de un éster de hidroperóxido a un aldehído volátil.
- Figura N°7.** Estructuras de Monómeros Cíclicos de ácidos grasos presentes en los aceites de girasol calentados.
- Figura N°8.** Formación no radical de Dímeros y ácidos grasos cíclicos.
- Figura N°9.** Estructura de Dímeros Polares.
- Figura N°10.** Reacción Química para la producción de Biodiesel con Catalizador.
- Figura N°11.** Reacciones de Trans-esterificación.
- Figura N°12.** Proceso de Trans-esterificación en Discontinuo.
- Figura N°13.** Proceso de Obtención de Biodiesel mediante reactores de Flujo Pistón.
- Figura N°14.** Fórmula general de un Tensioactivo aniónico (la sal).
- Figura N°15.** Estructura Molecular de las partes de un Jabón.
- Figura N°16.** Reacciones de Saponificación Directa.
- Figura N°17.** Reacción de Neutralización de ácidos grasos.
- Figura N°18.** Reacción de Metil-éster con sosa.
- Figura N°19.** Ubicación Geográfica del Distrito de Piura.
- Figura N°20.** Recipientes de 250 y 10 Litros para el recojo de AVU.
- Figura N°21.** Proceso de recuperación del aceite vegetal usado.
- Figura N°22.** Recorrido de Unidades para el recojo de AVU en el distrito de Piura.
- Figura N°23.** Ruta óptima para el recojo de AVU en el distrito de Piura.
- Figura N°24.** Planta Experimental.
- Figura N°25.** Decantador y Lavador.
- Figura N°26.** Diagrama del Proceso de Producción de Biodiesel propuesto.
- Figura N°27.** Guantes de protección de nitrilo.
- Figura N°28.** Diagrama del Proceso N° 1. Preparación del Jabón en barra.
- Figura N°29.** Diagrama del Proceso N° 2. Preparación del Jabón Gel.
- Figura N°30.** Etapas del proceso para producir jabón líquido. Diagrama de bloques.
- Figura N°31.** Diagrama de Flujo de proceso para la producción de jabón líquido.

## **INDICE DE GRÁFICAS**

**Gráfica N°1.** Porcentaje de establecimientos que usan aceites vegetales.

**Gráfica N°2.** Porcentaje consumido de aceite vegetal nuevo AVN por establecimiento.

**Gráfica N°3.** Consumo Total (Litros/día) de AVN por tipo de establecimiento.

**Gráfica N°4.** Porcentaje de veces de reuso del AVN en los diferentes tipos de establecimientos de comida.

**Gráfica N°5.** Porcentaje de Marcas de Aceites Vegetales preferidos por los establecimientos.

**Gráfica N°6.** Porcentaje promedio de Aceites Vegetales absorbidos y AVU generados en los diferentes establecimientos.

**Gráfica N°7.** Porcentaje del Tipo de utensilios de cocina utilizado en fritura.

**Gráfica N°8.** Destino Final de los AVU.

## **INDICE DE TABLAS**



- Tabla N°1.** Número de establecimiento de comida por tipo.
- Tabla N°2.** Consumo Promedio de AVN por tipo de establecimiento.
- Tabla N°3.** Consumo total de AVN por día según el tipo de establecimiento.
- Tabla N°4.** Cantidad de veces de reuso del AVN en los diferentes establecimientos de comida.
- Tabla N°5.** Marcas de Aceites Vegetales preferidas por los diferentes tipos de establecimientos.
- Tabla N°6.** Cantidad de AVN que se absorbe y cantidad de AVU generado (Litros/día).
- Tabla N°7.** Tipo de utensilios de cocina utilizados en frituras.
- Tabla N°8.** Producción estimada de AVU (Litros/día).
- Tabla N°9.** Disposición final de los AVU por los diferentes establecimientos de comida.
- Tabla N°10.** Producción estimada de Biodiesel por día.
- Tabla N°11.** Materiales para la construcción de la planta piloto.
- Tabla N°12.** Materiales para el decantador y lavador.

## **ANEXOS**

**Anexo N°1:** DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA PARA LA PRODUCCIÓN DE JABÓN LÍQUIDO.

**Anexo N°2:** ANÁLISIS FISICOQUIMICO DE UN ACEITE VEGETAL USADO

# **CAPITULO I**

## **1. INTRODUCCION**

A diario se observa que la contaminación ambiental es obra principal del hombre, especialmente a partir de la revolución industrial, generando de esta manera un empobrecimiento de los recursos naturales.

La tendencia a un mayor consumo de frituras y/o comida rápida por la población, y la mayor cantidad de establecimientos de comida; ha causado un significativo aumento en la cantidad de aceites usados, producto de la preparación de alimentos.

En los últimos años, Piura ha tenido un crecimiento económico muy importante que se ve reflejado en el poder adquisitivo de las personas. Actualmente, las personas compran y consumen más, el auge de la gastronomía ha traído consigo el aumento de restaurantes, cevicherías y establecimientos de comida rápida; haciendo que el consumo de aceite aumente, lo cual produce un problema de contaminación.

Las actividades de preparación de los alimentos implica la generación de aceites vegetales usados (AVU), los cuales debido a la falta de normatividad y de conciencia ambiental son dispuestos de manera directa a la línea de alcantarillado de la ciudad, ocasionando obstrucción debido a la formación de una capa superficial al interior de las tuberías que progresivamente disminuyen el diámetro de las mismas, lo que produce un aumento en la probabilidad de inundación durante las épocas de lluvia, malos olores y atracción de plagas, o al sistema de recolección de basura. Esto ocasiona serios problemas de salud pública asociada a la generación de compuestos tóxicos, incluso del tipo cancerígeno, durante la neutralización del AVU a altas temperatura. Los principales generadores de estos residuos son las industrias de fritura y los establecimientos de preparación de comida.

Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Geografías (INEGI) de México en el 2010 el potencial de generación de aceites usados se estima en un rango 1.5 a 6 litros por año, al respecto Japón reporta 1.7 litros de aceites residuales per capital; mientras Estados Unidos presenta un valor de 5.5 litros por persona.

Los AVU son aceites que tienen una gran utilización en la industria ya que se pueden hacer diferentes productos, como es el caso del biodiesel que es un biocombustible líquido que se obtiene a partir de lípidos naturales como aceites naturales o vegetales, el cual puede remplazar al diésel 2 que se utiliza intensivamente en el Perú.

La presente investigación busca saber la cantidad de aceites usados que se desecha en el Distrito de Piura y la reutilización que pueden tener estos aceites para la producción de alimentación de animales, la fabricación de detergente y/u otros; implicando a la población a participar activamente y lograr mejoras en el comportamiento ambiental. Con estas medidas se proyecta instruir y sensibilizar a la ciudadanía para que conozcan cuál es la gestión más adecuada para los residuos que se generan en sus domicilios.

## **1.1 FORMULACION DEL PROBLEMA**

¿Qué cantidad de aceites pueden ser reutilizados y plantear alternativas para su reutilización industrial?

## **1.2 JUSTIFICACION**

Debido a la poca información que se tiene sobre los aceites usados y al aumento de éstos, la presente investigación contribuirá con:

1. La cantidad de aceite usado que se desecha en el distrito de Piura.
2. Tener un parámetro de los aceites usados.
3. Analizar alternativas para su conversión en biodiesel y/u otros productos.

Y es importante porque:

1. Ayudará a disminuir la contaminación ambiental.
2. Preservará el sistema de alcantarillado de la ciudad.

Los beneficiarios que tendría este proyecto:

1. La población del distrito de Piura en el ámbito del cuidado del medio ambiente, ya que la población tomará conciencia sobre el daño que causa arrojar los aceites usados a la red de alcantarillado y los suelos.

2. Los restaurantes, cevicherías y establecimientos de comida rápida, ya que podrán vender o darle valor agregado a estos aceites.
3. Aportará a otros estudios e investigaciones que requieran de información de la cantidad de aceites usados que se desecha en el distrito de Piura.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Realizar un estudio de la cantidad de aceite usado en diferentes establecimientos de comida en el distrito de Piura y proponer estrategias de reutilización industrial.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

1. Evaluar las características de los aceites desechados en los establecimientos de comida.
2. Estimar la cantidad de aceite que usan los establecimientos de comida en el distrito de Piura.
3. Determinar el número de establecimientos de comida, clasificados por el volumen de aceites usados generados.
4. Evaluar económicamente las propuestas de reutilización industrial de estos aceites.

### **1.4 HIPOTESIS**

#### **1.4.1 Hipótesis General**

- El estudio de la generación de aceites usados en el distrito de Piura proporcionará la cantidad de aceite usado.

#### **1.4.2 Hipótesis Secundaria**

- Los aceites usados que se produce en los restaurantes de Piura es el principal causante del atoramiento de los desagües.
- Con la cantidad de aceites usados que son generados en el distrito de Piura se puede instalar una planta de biodiesel a base de estos aceites.
- El reusó de aceites usados es causante de enfermedades gástricas.

## **CAPITULO II**

### **2. MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 LOS ACEITES VEGETALES.**

Químicamente, los aceites y las grasas son lípidos simples formados por glicéridos: ésteres glicerínicos de los ácidos grasos.

En general, el término grasa incluye todos los triglicéridos y se relaciona con los productos lipídicos de origen animal y otros minoritarios de origen vegetal, mientras que aceite se refiere a los lípidos de origen vegetal, independientemente del estado líquido o sólido que adquieran según la temperatura ambiental o su punto de fusión.

Los lípidos de los alimentos, salvo muy raras excepciones, contienen ácidos grasos de cadena lineal saturados o insaturados. Algunos ácidos grasos están presentes en todas las grasas y aceites y otros lípidos. Este es el caso de los ácidos oleico y linoléico, esteárico, palmítico y palmitoleico. Especial importancia han adquirido el linoléico y el linolénico por su relación con efectos potencialmente beneficiosos para la salud.

En función de los ácidos grasos podrían establecerse varios subgrupos:

- Aceites procedentes de semillas: algodón, sésamo, girasol, maíz, cacahuete y cártamo o de tegumento o pulpa de frutos: oliva y palma, ricos en ácidos oleico y linoléico y contenido en ácidos grasos saturados no superior al 20%. En este grupo la cantidad de ácidos grasos saturados es muy baja.
- Aceite de coco, palma, babassu y coquilla con una proporción de 40-50% de ácido láurico C12, con bajo grado de insaturación y ácidos grasos de cadena corta, por lo que funden a temperaturas poco altas y son relativamente estables.
- Aceites de soja, germen de trigo, cáñamo y perilla, ricos en ácido linoléico 4, grasas lácteas y tejidos adiposos animales, con un elevado grado de saturación de los ácidos grasos.

Una parte importante de estos aceites se utilizan en el proceso de fritura, consistente en introducir un alimento en un baño de aceite caliente a temperaturas elevadas (150-200°C), donde el aceite actúa como transmisor de calor produciendo un calentamiento rápido y uniforme del producto.

Durante la fritura los aceites sufren cambios y alteraciones químicas, derivados del aumento de la temperatura, que hacen necesario su reemplazo cuando no se cumplan las características higiénico sanitarias: estar exentos de sustancias ajenas a la fritura, no alterar las características de composición y organolépticas de los baños de fritura y que el contenido en compuestos polares sea inferior al 25%.

Una vez que los aceites de cocina ya no pueden ser utilizados pasan a ser un subproducto o un residuo dependiendo de si reutilizan o se desvalorizan.

Los **aceites** son grasas **vegetales** que forman pequeñas gotitas en el interior de las células de semillas y algunos frutos. Los más habituales para el consumo humano son los obtenidos a partir de frutos como la aceituna, el coco o la palma aceitera, y semillas como el girasol, la soja, el maíz, el sésamo o la nuez.

Son productos básicos que deben aparecer cada día en nuestra dieta en cantidades adecuadas. Lo más conveniente es utilizar el **aceite** de oliva y los de semillas en la cocina, ya que así se consigue que la proporción de los diversos tipos de grasa (monoinsaturada, poliinsaturada y saturada) se ajuste a lo que requiere una *alimentación equilibrada* y cardiosaludable. A la hora de elegir un buen **aceite vegetal** debemos tener en cuenta sus **propiedades**.

Los mejores aceites son los que se elaboran mediante presión en frío, ya que el prensado en caliente y el refinado reducen en gran medida el contenido de las sustancias que confieren al aceite su sabor, aroma, color y algunos de sus componentes más saludables, como las **vitaminas E** y beta-carotenos o provitamina **A**, y los **antioxidantes** y fitosteroles que impiden que parte del colesterol que ingerimos con los alimentos se absorba en el intestino, lo cual es beneficioso para personas con elevados niveles de colesterol en sangre y para la prevención de enfermedades cardiovasculares.

### 2.1.1 Fuentes de aceite vegetal

#### ➤ OLIVA

Se obtienen del fruto del olivo por medios mecánicos u otros procedimientos físicos aplicados en condiciones que excluyan toda alteración del producto. No se sujetan a ningún otro tratamiento que no sea su lavado, decantación, centrifugado o filtración o como resultado de cualquier mezcla con aceites de otros tipos. Es rico en ácido oleico que ayuda

prevenir las enfermedades relacionadas con el colesterol, favorece la absorción del calcio, es bueno para la piel y las enfermedades del hígado. La composición de su grasa es la más parecida a la grasa de la leche materna, que es el alimento por excelencia.

❖ **Virgen:** Se consigue a partir de la trituración de las aceitunas aplicando presión en frío para exprimir el aceite hasta obtener una pasta. Es sometido a diversos filtrados que eliminan las partículas sólidas que contiene en suspensión para hacerlo más transparente. En función de la cantidad de ácidos grasos libres y según las características del fruto, su calidad y suavidad será mayor o menor:

- **Extra:** de sabor y aroma afrutados y suaves, la acidez es inferior a 1°.

- **Fino:** la acidez máxima es de 2°.

- **Corriente:** hasta 3° de acidez.

- **Lampante:** presenta una acidez libre de más de 2°.

❖ **Refinado:** Se obtiene a partir de un aceite que contiene muchos ácidos grasos libres. Suele ser de color pálido y su acidez no llega a 0,2°, por lo que apenas tiene sabor, vitaminas, fitosteroles y sustancias responsables de aroma.

❖ **Aceite de oliva o puro de oliva:** Es una mezcla de aceite de oliva virgen y aceite de oliva refinado. Es el más común en el mercado y su acidez no debe superar 1°.

❖ **Aceite de orujo de oliva:** Se obtiene a partir de la torta o residuo que queda después del prensado de las olivas y que contiene todavía entre un 10-20% de aceite que puede aprovecharse. Es el de peor calidad y necesita ser refinado para reducir su acidez máxima a 0,3°.



**Figura N° 1. Aceite de Oliva**

Fuente: <http://www.wikipedia.com>

## ➤ SEMILLAS

Aquellos que proceden de frutos o semillas que permiten obtener un producto bromatológicamente aceptable, obtenidos mediante extracción por procesos físicos, acción mecánica o disolución por disolventes.

Los aceites vegetales de semillas no pueden destinarse al consumo si no han sido sometidos a un proceso de refinación previamente. Además pueden comercializarse bajo el nombre de la semilla de la cual proceden -ya sea girasol, soja, germen de maíz o pepita de uva- o bajo el nombre de “aceite de semillas” cuando esté constituido por la mezcla de dos o más aceites procedentes de las semillas antes mencionadas.

Son muy utilizados en la cocina, pero debemos conocer sus características organolépticas (sabor, color, aroma, etc.) y nutritivas de los distintos tipos de aceite, destinar cada uno a su uso culinario más propicio y elegir acertadamente entre la inmensa oferta de aceites que podemos encontrar en el mercado.

- ❖ **Aceite de girasol:** Es uno de los más ricos en ácido linoléico. Contiene mucha vitamina E que es buena para combatir problemas cardiovasculares. Tiene efecto antioxidante por lo tanto, es bueno para la piel. Se puede tomar crudo o utilizarlo para freír alimentos.



**Figura N° 2. Aceite de Girasol**

*Fuente:* <http://www.wikipedia.com>

- ❖ **Aceite de soja:** Tiene sabor neutro, es rico en grasas poliinsaturadas y en ácido linoléico. Son de alta asimilación y de fácil digestión. Aportan omega 3 y 6, elementos que son buenos para el corazón, beneficia los procesos neurológicos y ayuda a controlar el colesterol.



- ❖ **Aceite de germen de maíz:** Se obtiene del germen que se separa en la obtención del almidón. Es necesario proceder al mimetizarlo para eliminar las ceras. Apropiado para obtener margarina y se emplea también para mayonesas y ensaladas



**Figura N° 3. El Maíz**

Fuente: <http://www.wikipedia.com>

- ❖ **Aceite de nuez:** Se obtiene por presión en frío y no precisa refinado. Es el más rico en ácido linoléico, pero se oxida y enrancia con mucha facilidad.



**Figura N° 4. Las Nueces**

Fuente: <http://www.wikipedia.com>

- ❖ **Aceite de sésamo:** Tiene un sabor y aroma muy agradables y contiene igual proporción de ácido oleico (Monoinsaturados) y linoléico (poliinsaturado). No precisa refinado, contiene el antioxidante natural del sésamo, lo que lo hace muy estable y resistente a la oxidación. Es bueno para la memoria, para la resequedad del cuerpo y el cuero cabelludo, los problemas de colesterol, el reumatismo y el sistema nervioso.
- ❖ **Aceite de coco y de palma:** Son ricos en grasa saturada y su consumo frecuente se relaciona con el aumento de los niveles de colesterol en sangre, por lo que no poseen el efecto cardioprotector que tienen otros aceites. Suelen emplearse en la elaboración de productos de bollería industrial y en frituras de snack.

### 2.1.2 Propiedades y composición del aceite vegetal antes del proceso de frituras.

La gran mayoría de los aceites quemados provienen de restaurantes y cevicherías, pero también es posible conseguir aceite de plantas industriales de producción de alimentos. El aceite quemado existe en una gran variedad de calidades, desde seco, limpio y bajo en ácidos grasos libres hasta muy contaminado con agua, animales muertos, trozos de comida.

En general, la selección del aceite y grasa de fritura está muy determinada por su precio y disponibilidad, así como por sus características tecnológicas.

Una amplia variedad de aceites y grasas refinadas son utilizados como medio de fritura (ver cuadro N° 01), donde los aceites mayoritariamente Monoinsaturados son los más utilizados, ya que presentan ventajas respecto a las grasas saturadas o parcialmente hidrogenadas por cuestiones relacionadas con la salud, y también respecto a los aceites poli insaturados, por cuestiones de estabilidad y calidad sensorial.

**Cuadro N° 1. Principales características fisicoquímicas de algunos aceites y grasas**

Fuente <http://www.wikipedia.com>

<b>Aceite o grasa</b>	<b>Principales ácidos grasos presentes</b>	<b>Viscosidad a 38°C mm<sup>2</sup>/s</b>	<b>Índice de yodo (g/100g)</b>	<b>Índice de saponificación (mg catalizador/lg)</b>	<b>Materia insaponificable (%)</b>
<b>Soya</b>	53%Linoléico 23%Oleico 12%Palmitico 8%Linolénico	32,6	125-140	190-194	1.00
<b>Semilla de algodón</b>	53%Linoleico 24%Palmitico 18%Oleico	33,5	110	192-200	1.50
<b>Girasol</b>	59%Linoleico 34%Oleico	37,7	133	189-194	1.30
<b>Palma</b>	48%Palmitico 38%Oleico 9%Linoleico		50	196-206	0.30
<b>Coco</b>	49%Láurico 18%Mirístico 8%Caprílico 8%Palmitico		10	252-260	0.40
<b>Canola</b>	62%Oleico 25%Palmitico 13%Esteárico 10%Linoleico	37	100	170-180	1.00
<b>Manteca de cerdo</b>	45%Oleico 25%Palmitico 13%Esteárico 10%Linoleico				
<b>Sebo de vacuno</b>	39%Oleico 26%Palmitico 22%esteárico	51,2	35-48		
<b>Ricino</b>	88%Ricinooleico 8%Oleico	297	85	177-187	0.50

**Cuadro N° 2. Composición (%) de los ácidos grasos mayores de los aceites más utilizados en frituras.**

	Aceite de oliva	Aceite de girasol	Aceite de soja	Aceite de maíz	Aceite de algodón	Aceite de colza	Aceite de cacahuete	Aceite de coco	Palmiste	Aceite de palma	Oleína de palma
C <sub>8:0</sub> <sup>1</sup>								7,6	4,75		
C <sub>10:0</sub>								5,75	3,80		
C <sub>12:0</sub>								44,9	44,80		0,3
C <sub>14:0</sub>					1,18		0,23	17,15	15,25	0,96	1,05
C <sub>16:0</sub>	10,66	5,95	9,60	10,25	22,00	4,05	9,85	8,60	8,10	41,55	40,55
C <sub>16:1</sub>	1,23	0,50	0,50	0,50	0,940	0,60				0,50	0,20
C <sub>18:0</sub>	2,40	4,30	3,50	2,15	3,60	1,45	3,05	2,60	2,40	4,75	4,25
C <sub>18:1n-7</sub>	72,35	20,50	20,40	28,45	17,75	58,55	53,65	6,70	13,80	37,05	41,85
C <sub>18:2n-6</sub>	8,05	62,65	54,20	52,25	48,80	19,70	21,55	1,65	2,40	10,10	11,55
C <sub>18:3n-3</sub>	0,85	0,50	7,70	0,93	0,74	9,15				0,50	0,35
C <sub>20:0</sub>	0,41	0,39	0,50	0,50		0,49	2,40			0,50	0,4
C <sub>20:1</sub>						4,45	1,40				
C <sub>22:0</sub>							2,90				
C <sub>22:1</sub>						0,53					
C <sub>24:0</sub>						0,60	1,40				

<sup>1</sup> C<sub>12</sub> (ácido caprílico), C<sub>10:0</sub> (ácido cáprico), C<sub>12:0</sub> (ácido láurico), C<sub>14:0</sub> (ácido mirístico), C<sub>16:0</sub> (ácido palmítico), C<sub>18:1</sub> (ácido palmítico), C<sub>18:0</sub> (ácido esteárico), C<sub>18:1n-9</sub> (ácido oleico), C<sub>18:2n-3</sub> (ácido linoleico), C<sub>18:3n-3</sub> (ácido linolénico), C<sub>20:0</sub> (ácido araquídico), C<sub>20:1</sub> (ácido eicosenoico), C<sub>22:0</sub> (ácido behénico), C<sub>22:1n-9</sub> (ácido erúico), C<sub>24:0</sub> (ácido lignocérico).

Fuente: Pantzaris (1999); Souci (1994)

La fritura es un proceso de naturaleza muy compleja, en la que se ven implicadas numerosas reacciones que afectan a los componentes de la materia grasa que se utiliza como medio de fritura tanto los componentes mayoritarios como los componentes del insaponificable (esteroles, tocoferoles, carotenos, etc.). A partir de tres agentes (agua, oxígeno y temperatura elevada), que actúan favoreciendo diversas reacciones, los componentes de los aceites sometidos a fritura experimentan diversas alteraciones tal como recoge el siguiente cuadro:

**Cuadro N° 3. Principales grupos de compuestos formados en los aceites y grasas durante el proceso de frituras**

Tipo de alteración	Agente causante	Compuestos nuevos resultantes
Hidrolítica	Humedad	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ácidos grasos libres</li> <li>Diacilgliceroles</li> <li>Monoacilgliceroles</li> </ul>
Oxidativa	Aire	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dímeros y polímeros oxidados (TG) compuestos volátiles</li> <li>Cetonas, hidrocarburos, etc.</li> <li>Óxidos de esteroides.</li> </ul>
Térmica	Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dímeros y polímeros no polares.</li> <li>(TG) Monómeros cíclicos.</li> <li>Isómeros trans (TG) y de posición.</li> </ul>

Fuente: Dobarganes y col. (2002)

## **2.2 ACEITE VEGETAL PARA FRITURAS**

El principal uso del aceite en la cocina es en frituras, donde funciona como medio transmisor de calor y aporta sabor y textura a los alimentos. Uno de los requisitos del aceite de cocina es que sea estable en las condiciones verdaderamente extremas de fritura por inmersión, esto es, altas temperaturas y humedad. En general, en la fritura el aceite debe mantenerse a una temperatura máxima de 180 °C. Si se fríen los alimentos a una temperatura demasiado baja, éstos atrapan más grasa. El agua, que es aportada por los alimentos que se fríen en el aceite, aumenta la disociación de los ácidos grasos que se produce durante el calentamiento. La hidrólisis genera un aceite de baja calidad con un punto de humo más bajo, un color más oscuro y un sabor alterado. Durante el calentamiento, los aceites también polimerizan, generando un aceite viscoso que se absorbe fácilmente por los alimentos y que genera un producto grasiento. Cuanto más saturados (sólidos) sean los aceites, más estables son frente a la disociación oxidativa e hidrolítica, y menos fácil es que polimericen.

Los aceites ricos en ácido linolénico, como el de soja y el de canola, son particularmente susceptibles de sufrir estos cambios indeseables. Cuando el aceite de soja se hidrogena parcialmente a fin de reducir el ácido linolénico (desde aproximadamente un 8 por ciento hasta valores inferiores al 3 por ciento), se genera un aceite de freír relativamente estable, que se utiliza en alimentos fritos elaborados, frituras en sartén y a la parrilla, y en salsas. La estabilidad puede aumentarse utilizando aceite de semilla de algodón, aceite de maíz, aceite de palma o palmoleína, o con un aceite de soja más hidrogenado.

Los alimentos que se fríen y almacenan antes de comerlos, como por ejemplo los aperitivos, requieren un aceite aún más estable. Los aceites más saturados mejoran la estabilidad, pero si la grasa de freír es sólida a temperatura ambiente se generará una desagradable superficie dura, indeseable en algunos productos fritos. Cuando los aceites se usan continuamente, como en los restaurantes, se necesita una grasa de freír que sea muy resistente. En estos casos se emplean mantecas más sólidas que maximicen la estabilidad de la grasa durante muchas horas de fritura.

Los aceites de fritura obtenidos a partir del girasol y de cártamo presentan menor estabilidad dado su alto contenido en ácidos grasos. Sin embargo, los aceites de cártamo y

de girasol de plantas mejoradas genéticamente, con un alto contenido de ácido oleico, son aceites adecuados para freír.

Recapitulando, para obtener un aprovechamiento óptimo de los aceites de cocina, es necesario distinguir entre distintas condiciones de fritura. Los principales parámetros que se deben vigilar son la duración del uso y la naturaleza de los alimentos que se vayan a freír. Si en el aceite de fritura entran alimentos grasos, los componentes de estos alimentos podrían desestabilizar el aceite, y su contenido de agua podría influir en la operación de fritura. Tiene importancia el hecho de que el uso sea continuo o intermitente, ya que el uso continuado crea una capa de vapor de agua protectora frente a la oxidación. Por último, se debe tener en cuenta la temperatura porque exceder el nivel adecuado de fritura podría afectar la integridad de los aceites convirtiéndolos en perjudiciales para la salud.

Generalmente se suele vigilar satisfactoriamente el uso industrial de las grasas y de los aceites. La operación de fritura continua (que implica la adición constante de aceite fresco) y los requisitos de calidad de los productos aseguran normalmente un buen control de la calidad del aceite. En los hogares, donde los aceites se usan normalmente durante períodos de tiempo mucho más cortos y se desechan después de haberse utilizado una o dos veces, los problemas de estabilidad juegan un papel menos importante. La estabilidad de los aceites es un factor más importante en las operaciones de los servicios de comidas preparadas, donde el calentamiento es intermitente y los aceites pueden usarse durante largos períodos de tiempo.

### **2.2.1 Cocción segura del aceite**

Partiendo de la base de que la comida frita es la menos saludable para el organismo, se deben tener en cuenta algunos aspectos importantes para hacer esta práctica lo más segura posible. En primer lugar, es importante escoger el aceite adecuado para su cocción. Se debe seleccionar aquel cuya temperatura de fusión sea alta, es decir, el que mejor tolera las altas temperaturas. En los procesos de cocción se alcanzan rápidamente los 180°C y la variedad que mejor soporta estas temperaturas es el aceite de oliva. Su punto crítico es alrededor de los 210°C. Los más fácilmente degradables y, por tanto, oxidables y generadores de compuestos volátiles no deseados, son aquellos con punto de fusión bajos, por ejemplo los aceites de semillas, cuyo punto crítico se sitúa a partir de los 170°C.

La correcta temperatura de cocción también es un factor importante, es decir, cuando el aceite desprende humo indica que sus componentes se están degradando y empieza a formarse compuestos con un alto poder nocivo para la salud. La temperatura más adecuada para la cocción del aceite es alrededor de los 180°C. En esta temperatura quedan aseguradas las propiedades del aceite.

### **2.2.2 Cuándo cambiar el aceite.**

Lo más importante es saber encontrar el punto medio. A pesar de que reutilizar el aceite es una opción sostenible en términos de ecología, un uso reiterado hace que éste pierda parte de sus propiedades beneficiosas y aparezcan las indeseadas. Por este motivo, se recomienda reutilizar el aceite de tres a cuatro veces como máximo, siempre y cuando esté limpio de impurezas y con poca viscosidad. Esta característica, la viscosidad, aumenta al perder sus propiedades, por lo tanto, un buen indicador para saber si el aceite es apto para reutilizarlo es observando su viscosidad.

### **2.2.3 Entre la sartén o la freidora.**

Cualquiera de las dos opciones es válida. La ventaja de la freidora es que se puede regular la temperatura del aceite y no existe riesgo de quemarlo. No obstante, el aceite que se almacena en las freidoras corre el riesgo de enranciarse y proporcionar mal gusto al producto, por lo que es importante cambiarlo frecuentemente. Además, la freidora conlleva la utilización de una gran cantidad de aceite para las cocciones.

La ventaja de freír con sartén es la cantidad de aceite que se precisa: inferior a la freidora y las probabilidades de enranciarse o de reutilizarlo excesivamente son menores. El inconveniente de freír con sartén es que no se puede controlar la temperatura de cocción y el aceite puede quemarse fácilmente. Se aconseja utilizar sartenes antideslizantes o de fondo grueso ya que guardan mejor el calor y lo distribuyen uniformemente.

### **2.2.4 Características fisicoquímicas del aceite usado de cocina.**

Conforme a los datos facilitados por RAFRINOR, un litro de aceite usado tiene la siguiente composición media:

- 85% de aceite

- 10% es agua con restos de aceite y materia orgánica.
- 5% son lodos cuya composición es un 60% aceite, un 30% materia orgánica y un 10% agua.
- Densidad relativa: 0,91

Para caracterizar la composición del aceite vegetal usado, desde un punto de vista, de los Gestores de Saneamiento y manejar un parámetro químico de uso común en depuración de aguas residuales, como es la Demanda Química de Oxígeno (DQO), el Consorcio de Aguas Bilbao B. recogió y analizó una muestra de aceite usado en un tanque de la empresa RAFRINOR, convenientemente homogenizado, para garantizar que la muestra sea representativa de un gran número de generadores del residuo. El resultado del análisis fue que la DQO del aceite usado es del orden de 3.400.000 mgO<sub>2</sub>/litro.

Para dar una idea de lo elevado de este valor, basta compararlo con los 600 o 700 mgO<sub>2</sub>/litro de DQO que presenta el agua residual influente a un EDAR, donde se tratan aguas residuales urbanas. Es decir, el aceite usado contiene aproximadamente 5.000 veces más carga contaminante que el agua residual que circula por las alcantarillas y redes de saneamiento.

## **2.3 REACCIONES DE OXIDACIÓN DE LOS ACEITES VEGETALES EN EL PROCESO DE FRITURAS.**

### **2.3.1 Ácidos grasos libres**

La reacción del agua con el aceite durante la fritura conduce a la liberación de ácidos grasos y ésteres parciales del glicerol, a partir de los triacilgliceroles. [3][9].

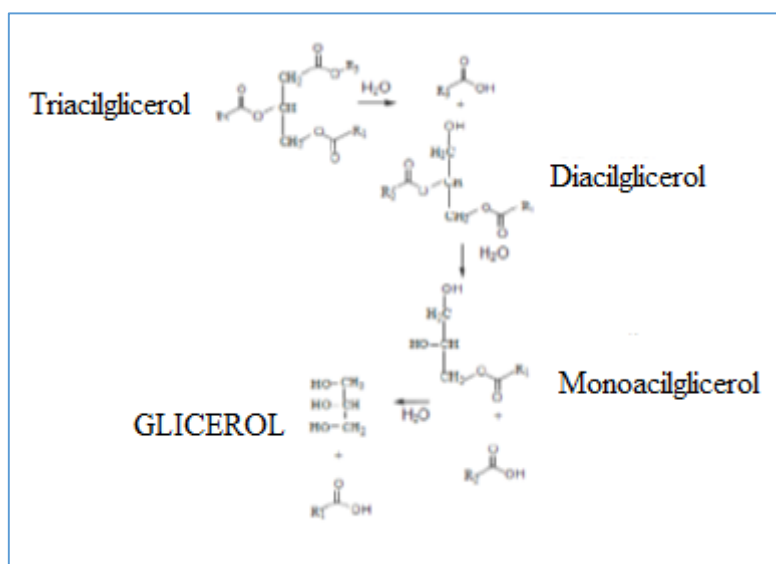
Los derivados de hidrólisis, es decir, ácidos grasos libres, mono y diacilgliceroles, aunque no son muy relevantes desde un punto de vista cuantitativo (2,5-4% de acidez en aceites desechables), presentan una velocidad de oxidación y reactividad generalmente superior a la de los triacilgliceroles de origen, por lo que se facilita la alteración en general. La intensidad de este proceso de hidrólisis, que puede medirse mediante la acidez libre, depende de diversos factores:

- ❖ La cantidad de agua en contacto con el aceite o grasa de fritura. El agua se introduce a través del producto que se sumerge para freír y, por lo tanto, la humedad relativa

del alimento es un factor clave, que en el caso de la papa blanca o sus variedades puede llegar a ser aproximadamente del 80%.

- ❖ La superficie del alimento sumergido, o mejor dicho, la relación superficie/volumen de producto. A mayor valor de esta relación, mayor contacto entre el aceite y el agua del producto.
- ❖ La temperatura de fritura. Una temperatura elevada favorece la formación de ácidos grasos libres (AGL).
- ❖ La presencia excesiva de partículas sólidas residuales en el aceite de fritura acelera la formación de ácidos grasos libres. En cambio, la formación de espuma en la superficie del aceite minimiza esta reacción hidrolítica.

**Figura N° 5. Alteración hidrolítica**



*Fuente: (Perkins, 1996).*

El desarrollo de la acidez libre en el aceite sigue un curso paralelo al de otras reacciones de alteración durante la fritura. Por ello, dicha acidez suele ser un parámetro muy utilizado para el control de los aceites usados de fritura. Los ácidos grasos libres son además un factor negativo, pues favorecen la formación de humo.

### 2.3.2 Compuestos de oxidación primaria

Un primer tipo de compuestos derivados de la oxidación de los ácidos grasos insaturados (AGI) y de otras moléculas insaturadas son los hidroperóxidos (HP) que son los compuestos de oxidación primaria más característicos y abundantes, y que su estructura vendrá determinada por la mezcla de ácidos grasos (especialmente los poli insaturados) presentes en el aceite de fritura.



La oxidación transcurre a través de reacciones en cadena, mediadas por radicales libres en un proceso complejo en el cual intervienen los radicales libres y el oxígeno.

A las temperaturas de fritura, la oxidación de los ácidos grasos depende de la concentración de oxígeno en estas grasas calentadas, convirtiéndose la disponibilidad del oxígeno en un factor limitante. Por ello, a temperatura de fritura, los hidroperóxidos existen de una forma transitoria debido a su baja termoestabilidad y se descomponen en productos volátiles y no volátiles.

Los dos mecanismos que han sido postulados para la oxidación a altas temperaturas de las grasas insaturadas son:

- ❖ Descomposición térmica por interacción entre radicales libres, cuando los ácidos grasos insaturados son continuamente calentados a elevadas temperaturas.
- ❖ Descomposición inducida a través de la formación de hidroperóxidos a partir de ácidos grasos insaturados cuando son sujetos a calentamiento intermitente. Bajo estas condiciones, los hidroperóxidos se acumulan a bajas temperaturas contribuyendo a la formación de radicales cuando los aceites son recalentados; por ello se considera la fritura discontinua más destructiva que la fritura continua.

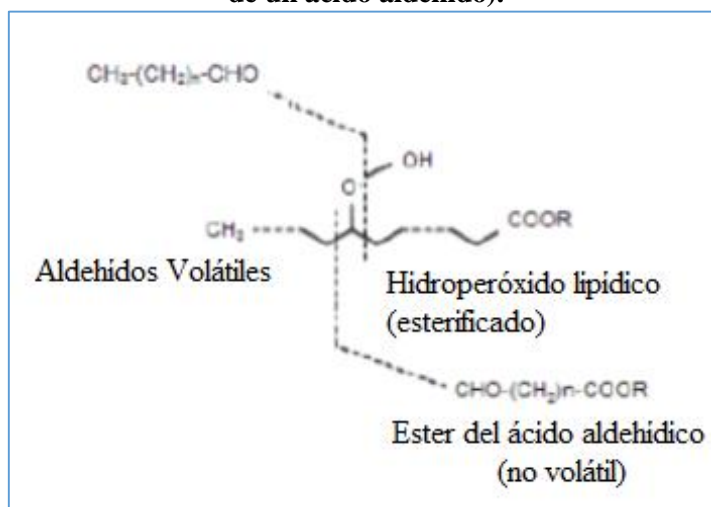
Sin embargo, la naturaleza inestable de los radicales libres y de los hidroperóxidos a la temperatura de fritura, les resta relevancia por sí mismos y sólo debemos contemplar su papel como intermediarios de reacción.

Sin embargo son el punto de partida de la formación de numerosos compuestos de alteración (dímeros, monómeros cíclicos, compuestos carbonílicos, alcoholes, hidrocarburos, etc.)

### **2.3.3 Compuestos no volátiles de oxidación secundaria.**

Los compuestos no volátiles de oxidación secundaria son productos formados durante el proceso de fritura, como consecuencia de diversas reacciones sufridas por los peróxidos lipídicos.

**Figura N° 6. Escisión de un éster de hidroperóxido a un aldehído volátil (éster de un ácido aldehído).**



Fuente: (Kamal-Eldin y col., 1997).

Los peróxidos pueden sufrir reacciones de fisión, formando alcoholes, aldehídos, ácidos e hidrocarburos, o bien reacciones de deshidratación que forman cetonas, mientras los radicales peroxilo pueden también dar lugar a la formación de dímeros, trímeros, epóxidos, éteres, etc., compuestos de elevado peso molecular indicadores fiables de la alteración de la grasa debido a su acumulación. Muchos de ellos son productos no volátiles, que permanecen por tanto en el aceite y cuya concentración determina el cambio de numerosas propiedades físicas, como el color, la viscosidad, la constante dieléctrica, la capacidad de formar espuma.

La formación de diferentes tipos de compuestos secundarios estará en relación con la naturaleza y proporción de los ácidos insaturados presentes en el medio de fritura. El conocimiento de los niveles de derivados lipídicos no volátiles en la grasa de fritura y producto frito es de gran importancia, ya que son retenidos en el aceite y, por tanto, serán absorbidos por los productos fritos y llegarán al consumidor. Es precisamente esta estabilidad y evolución en el tiempo en el aceite usado y el producto frito lo que los convierte en parámetros muy útiles para el control del desarrollo de las reacciones oxidativas durante la fritura. En consecuencia, se determinan mediante diferentes métodos los cambios físicos (ej. la viscosidad, el color, el punto de humo), o los cambios químicos (ej. el incremento en ácidos grasos libres, el aumento en compuestos de naturaleza carbonílica como aldehídos y

cetonas, el aumento del índice de hidroxilo o el aumento en la formación de compuestos de elevados peso molecular).

#### **2.3.4 Compuestos volátiles de oxidación secundaria**

Los compuestos volátiles de oxidación tienen una gran repercusión desde el punto de vista sensorial y son los responsables del aroma propio (a bajas concentraciones), así como del olor a rancio y de posibles aromas y gustos no deseables de los aceites de fritura utilizados y de los productos fritos en los mismos. Por esta razón, su caracterización es importante, tanto para el conocimiento de las reacciones que se producen en la fritura como para la calificación de estos productos, aunque su significación como posibles compuestos nocivos para el organismo es poco importante, ya que su concentración en el aceite suele ser siempre baja. Por otra parte, algunos compuestos volátiles de oxidación forman parte del sabor característico de los alimentos sometidos a fritura y el conocimiento del mismo puede permitir el desarrollo del sabor de fritura en productos no sometidos a la misma. Entre ellos destacan algunos hidrocarburos, alcoholes, aldehídos y cetonas y, en menor proporción, los furanos y ácidos carboxílicos.

La determinación de los compuestos volátiles se realiza principalmente mediante cromatografía de gases, ya sea directa o bien mediante espacio en cabeza estático o dinámico. Mediante el análisis cromatográfico de muestras con elevado contenido graso se determinan los compuestos volátiles más estables que permanecen en la grasa después de ser sometidos a diferentes tratamientos, siendo en el aceite de fritura la mayor parte provenientes de la descomposición de productos de oxidación lipídica.

Un elevado número de compuestos han sido identificados en aceites calentados o de fritura. Identificaron 220 compuestos volátiles en diversos aceites sometidos a fritura, mientras 26 compuestos fueron identificados en papa frito en aceites de colza parcialmente hidrogenados.

Su concentración se incrementa con el tiempo de fritura y su máximo se encuentra a las 70 horas. El cuadro N° 4 recoge datos de los principales compuestos volátiles formados en la oxidación de aceites vegetales.

**Cuadro N° 4. Componentes volátiles (%) más abundantes, originados en la oxidación de aceites vegetales.**

Componente	Maíz IP=3.0	Colza (b.er.) IP=3.5	Soja IP=4.5	Girasol IP=19.6	Girasol (a.ol.) IP=6.7
Propanol	8.9	10.9	4.5	2.8	4.0
Pentano	53.4	39.9	91.9	281.0	134.4
Pentanal	24.0	59.5	44.0	40.1	20.5
Pentanol		4.6		1.6	3.4
Hexanal	85.5	64.0	70.6	118.9	35.0
2-pentenol		5.8	3.6		
2-hexenal	5.7	5.7	6.4	7.3	10.4
2-heptenal	18.4	21.2	30.1	34.8	20.7
Octen-3-ol	0.7	3.1	1.1	1.2	
2,4-heptadienal		60.3	50.0		
Nonanal	3.4	8.6	3.4	1.0	23.8
2,4-decadienal	16.0	14.8	16.4	30.4	24.5

IP = índice de peróxidos; b.er. = bajo en ácido erúico; a.ol. = alto en ácido oleico.

*Fuente: (Kamal-Eldin y col., 1997).*

### 2.3.5 Monómeros cíclicos de los ácidos grasos

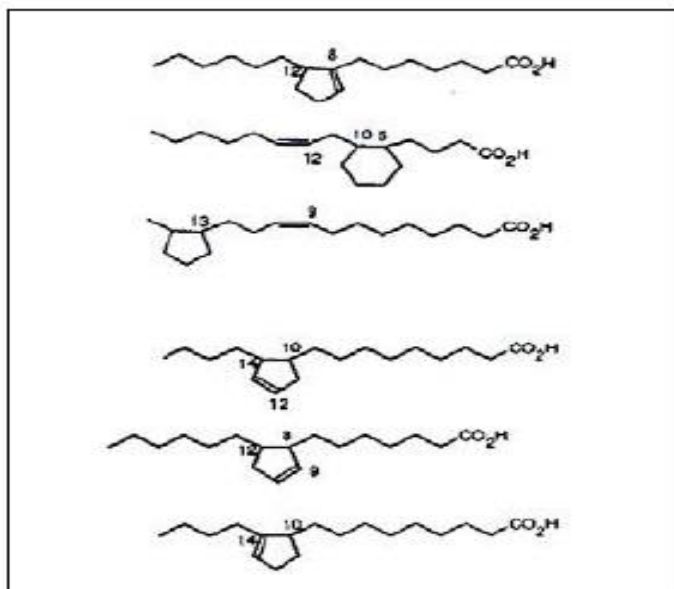
Uno de las principales reacciones que induce el tratamiento térmico intenso que supone la fritura es la ciclación de las moléculas de los ácidos grasos. No obstante, la compleja composición de un aceite (elevado número de ácidos grasos diferentes), así como la dificultad del procedimiento de identificación, ha llevado a que este campo se encuentre en fase de estudio intermedia. No obstante, existen ya muchos trabajos que identifican una amplia serie de monómeros cíclicos de los ácidos grasos en diferentes aceites calentados o sometidos a frituras. [3][5][7].

Los aceites vegetales son los más utilizados para la fritura y éstos pueden clasificarse en dos grupos fundamentales, los que contienen ácido linoléico (C18:2n-6) como AGPI mayoritario (oliva, girasol y maíz) y los que contienen proporciones apreciables de AGPI de la serie n-3 (ácido linolénico, C18:3n-3), aunque en mezcla con elevadas cantidades de ácido linoléico (colza, soja). La superior reactividad del ácido linolénico ha llevado a que las recomendaciones para aceites destinados a la fritura indiquen que no se superen contenidos del 2% de este ácido graso, para asegurar una adecuada estabilidad frente a la fritura. Esta mayor reactividad del ácido linolénico, así como las diferencias estructurales entre los ácidos linoléico y linolénico, hacen que la estructura y concentración de los monómeros cíclicos

que se forman en estos aceites depende de los contenidos respectivos de ambos ácidos grasos en el aceite.

Como ya hemos indicado, la elucidación de las estructuras de estos monómeros cíclicos es muy laboriosa y requiere sucesivas etapas de aislamiento, derivatización e hidrogenación, utilizando diferentes técnicas analíticas como la cromatografía, espectrometría de masas y espectrofotometría infrarroja con transformada de Fourier para la identificación. De esta forma, en la actualidad, se han podido ya caracterizar algunos componentes típicos en aceites calentados y de fritura. Estas estructuras son siempre penta o hexacíclicas, conteniendo frecuentemente un doble enlace.

**Figura N° 7. Estructuras de monómeros cíclicos de AG, presentes en los aceites de girasol calentados.**



*Fuente: (Le-Quere y Sebedio, 1996).*

Debido a la complejidad de la elucidación estructural, existen discrepancias entre diversos analistas a la hora de fijar las estructuras definitivas de estos componentes. Igualmente, podemos decir que los procedimientos analíticos para su determinación cuantitativa en un aceite calentado son complejos, y que esta cuantificación generalmente se realiza mediante aislamiento y concentración y determinación por GC/MS. Por esta razón, la reproducibilidad de los resultados no es muy buena y es necesario validar y normalizar dichos procedimientos. A pesar de ello, se han dado ya algunas cifras de contenidos totales de monómeros cíclicos en aceites calentados, que van de 0,2 a 4,6 %.

### **2.3.6 Dímeros y polímeros de los triacilglicerol**

Este grupo de compuestos de alteración, presentes en los aceites de fritura, es el más importante desde un punto de vista cuantitativo y su formación está también catalizada por las altas temperaturas del proceso, debido a que la formación de radicales libres de los ácidos grasos y triacilglicerol es mucho mayor a elevada temperatura, a consecuencia de hallarse incrementada la descomposición biomolecular de los peróxidos lipídicos. Por ello, estos compuestos están íntimamente relacionados con la calidad de la grasa y con una pérdida significativa de su valor nutritivo.

De esta forma, como puede deducirse de estos mecanismos de formación, los dímeros, trímeros y otros polímeros que irán apareciendo pueden ser de dos tipos, en función de que se combinen radicales oxidados o no oxidados.

Así, se clasifican estos compuestos en dos grupos fundamentales, que atienden a la presencia o no de grupos oxidados:

- Dímeros y polímeros apolares (no oxidados).
- Dímeros y polímeros polares (oxidados).

#### **2.3.6.1 Dímeros apolares**

Las reacciones de polimerización a elevada temperatura pueden seguir también una vía directa a partir de los triacilglicerol, sin intervención del oxígeno, por ejemplo mediante la reacción de radicales alilo. Se han propuesto diferentes reacciones para la formación de dímeros apolares:

- ❖ La formación de dehidrodímeros por combinación de dos radicales alilos.
- ❖ Formación de dímeros no cíclicos por adición intermolecular de un radical alilo sobre un doble enlace de una molécula insaturada y posterior estabilización mediante otra molécula insaturada de otro triacilglicerol.
- ❖ Formación de dímeros cíclicos por adición intramolecular de un radical dimérico sobre un doble enlace de la misma molécula y posterior estabilización mediante la abstracción de hidrógeno a partir de otra molécula insaturada.

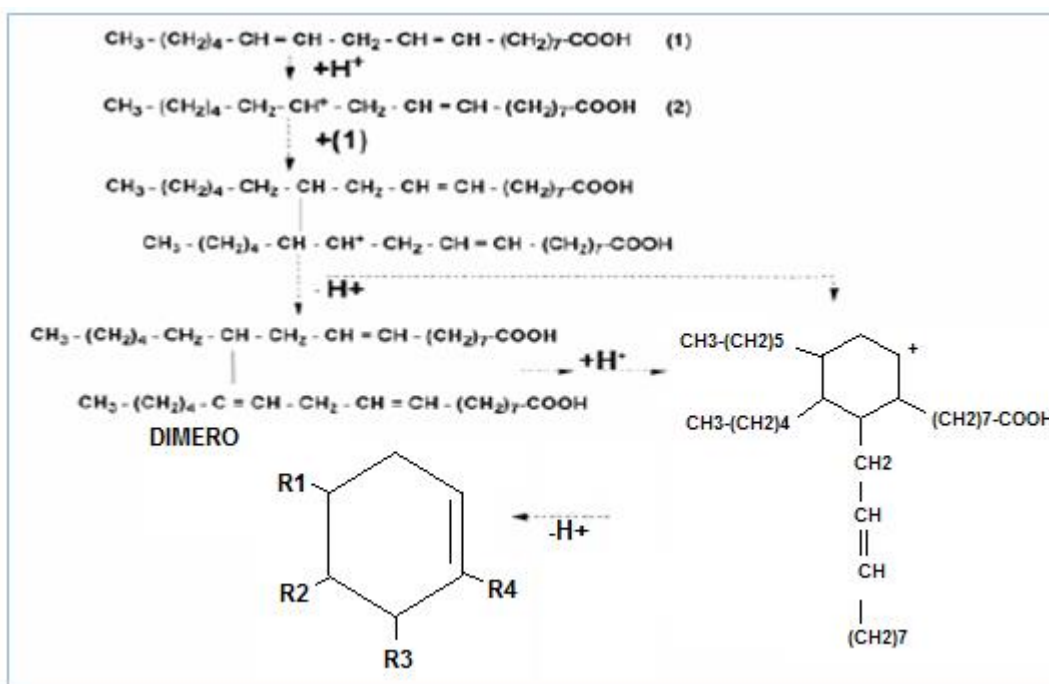
- ❖ Reacción de Diels-Alder entre dos moléculas, una de las cuales actúa como dienófilo que se adiciona a un diseño conjugado de la segunda molécula para formar una estructura ciclohexénica tetrasustituida.

En consecuencia, la diversidad de productos de polimerización resultantes puede llegar a ser muy elevada.

Estudios con modelos experimentales, que emplean mezclas de oleato de metilo y linoleato de metilo (ésteres metílicos de los AG insaturados mayoritarios en los aceites vegetales), así como el aislamiento de componentes a partir de aceites vegetales calentados, han llevado a concluir que las estructuras bicíclicas y tricíclicas intermoleculares y la práctica ausencia de estructuras monocíclicos son las características principales de este grupo de compuestos.

Diversos dehidrodímeros formados a través de la reacción de Diels-Alder han sido también identificados. La cuantificación de estos dímeros apolares (por GC, o CLAE de exclusión molecular) muestra que son, con toda seguridad, los compuestos de alteración más abundantes en los aceites de fritura o calentados pudiendo incluso superar hasta el 30%.

**Figura N° 8. Formación no radical de Dímeros y Ácidos Grasos cíclicos**



*Fuente: (Gertz y col., 2000).*

### 2.3.6.2 Dímeros polares

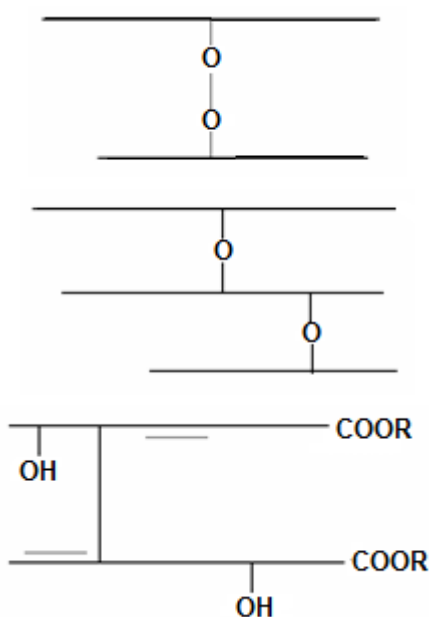
Al contrario que en el caso anterior, a consecuencia de sus mecanismos de formación y de la gran variabilidad de los compuestos de partida, las estructuras de estos dímeros oxidados son aún poco conocidas debido a:

- ❖ Numerosos grupos que presentan oxígeno (grupos carbonílicos, carboxílicos y éteres) están presentes en monómeros oxidados antes de la formación de dímeros; los dímeros polares también pueden generarse por oxidación de dímeros no polares.
- ❖ Más de un grupo funcional con oxígeno puede estar presente en el mismo dímero.
- ❖ El oxígeno puede o no estar implicado en la unión del dímero.

Por esta complejidad de origen, así como por la diversidad de reacciones posibles, es una familia de compuestos mucho más heterogénea que los compuestos dimérico apolares.

Estudios que parten de peróxidos de linoleato de metilo parecen confirmar el origen radical de esta formación de dímeros polares, pero los mecanismos parecen aún demasiado complejos para una explicación completa, basados en la combinación de radicales intermedios alquilo, alcoxilo y peroxilo. Los ensayos llevados a cabo en aceites, a temperatura de fritura y con aireación, llevaron a concluir la formación de derivados oxidados de uniones C-C, C-O u O-O entre monómeros.

**Figura N° 9. Estructuras de Dímeros Polares**



*Fuente: (Chang y col., 1978)*



## **2.4 APLICACIONES DE LOS ACEITES VEGETALES USADOS (AVU)**

El aceite usado debe gestionarse por empresas legalmente autorizadas para ello. Tiene la consideración de subproducto si se destina a la producción de biodiesel, biogás, etc. Y se considera residuo si se va a incineración.

Los aceites de cocina usados, recogidos selectivamente, pueden recibir tratamientos mediante los cuales se preparan para la producción de biocarburantes, jabones y otros usos en la industria química (ceras, barnices, otros), reduciendo así el uso de recursos procedentes de materias primas e impulsando la actividad económica y empleos más verdes.

La producción de biodiesel (BD100) a partir de aceites usados comporta un ahorro de energía fósil del 21% en relación al uso de aceites crudos y un ahorro del 96% de energía fósil respecto a la producción del diésel (CIEMAT,2006). Cada Kg de aceite recogido se puede transformar en un 0,92-0,97 Kg de biodiesel.

Las posibilidades de aprovechamiento de los aceites vegetales usados están encaminadas en la obtención de productos utilizados en el campo industrial, con el fin de minimizar el gasto de alguno de los recursos naturales, de los que disponemos.

### **2.4.1 Aplicación en la producción de piensos animales.**

Los aceites sometidos al tratamiento ya se utilizan en alimentación animal, sin embargo, el proceso que se describe a continuación permite tratar grandes cantidades de aceite vegetal usado, produciendo un aceite con un aprovechamiento superior para su incorporación en alimentación animal. Se trata de un proceso que está en fase de experimentación y que se ha probado en plantas pilotos.

El proceso permite la recuperación de la parte de aceite que, después de utilizado, no ha tenido procesos de transformación. Se trata de la fracción compuesta por triglicéridos y Compuestos insaponificable y la separación se lleva a término a temperaturas entre 40 –60 °C, utilizando como disolvente el anhídrido carbónico. El hecho de que el proceso se desarrolle a bajas temperaturas, evita que se produzcan reacciones químicas que comporten la formación de nuevos compuestos químicos. Para el control del producto entrante en el proceso y del producto saliente del proceso, se llevan a término análisis químicos que permiten la caracterización del aceite. Estas determinaciones analíticas permiten conocer la

composición del aceite y, por tanto, saber si existen contaminaciones procedentes de la mezcla de otros aceites.

#### **2.4.2 Aplicación para la obtención de biodiesel.**

La obtención de biodiesel a partir de aceites vegetales usados es una aplicación emergente que se está desarrollando rápidamente y con la que se están realizando diversas pruebas piloto en varios países, paralelamente a la obtención y expansión del biodiesel a partir del cultivo de plantas oleaginosas. Pero antes de conocer el proceso de obtención, conozcamos primero todo sobre este biocombustible, pasando por su definición, obtención, caracterización entre otros.

##### **2.4.2.1 El Biodiesel.**

El biodiésel es un **biocarburante** (nombre genérico de los biocombustibles para automoción) líquido producido a partir de los aceites vegetales y grasas animales, siendo la colza, el girasol y la soja las materias primas más utilizadas para este fin.

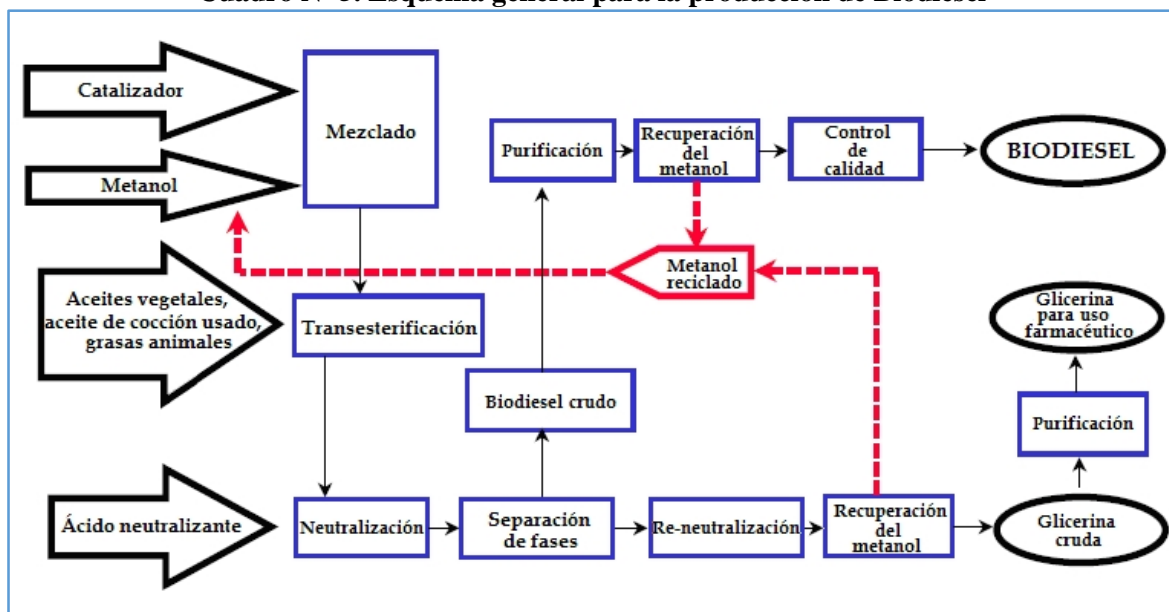
Las propiedades del biodiésel son prácticamente las mismas que las del gasóleo de automoción en cuanto a densidad y número de cetano. Además, presenta un punto de inflamación superior. Por todo ello, el biodiésel puede mezclarse con el gasóleo para su uso en motores e incluso sustituirlo totalmente si se adaptan éstos convenientemente.

La ASTM (American Society for Testing and Material Standard) describe al biodiésel como ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales o grasas de animales, y que se emplean en motores de ignición de compresión. Sin embargo, los ésteres más utilizados, son los de metanol y etanol (obtenidos a partir de la transesterificación de cualquier tipo de aceites vegetales o grasas animales o de la esterificación de los ácidos grasos) debido a su bajo coste y sus ventajas químicas y físicas.

##### **2.4.2.2 Proceso de Obtención del Biodiesel.**

El proceso de tratamiento de los aceites vegetales usados para la obtención del biodiesel se basa en un conjunto de reacciones químicas que se detallan a continuación. El esquema general es el siguiente:

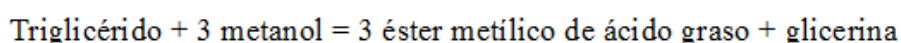
**Cuadro N° 5. Esquema general para la producción de Biodiesel**



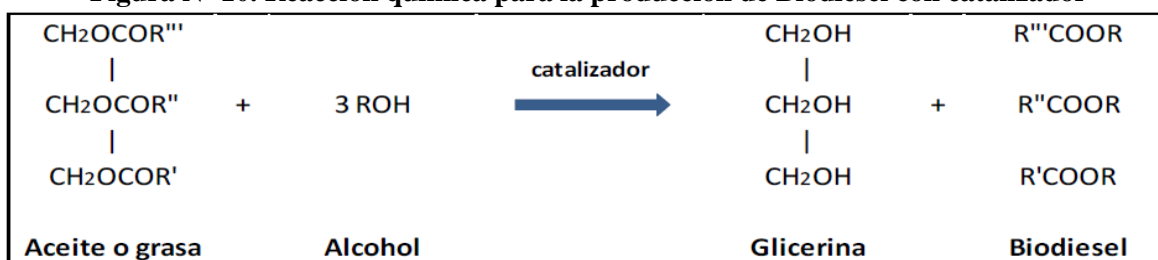
Fuente: Miliarium.com

El proceso químico que debe darse para la aplicación de los aceites usados vegetales como Biodiesel es la transesterificación, consistente en la transformación, mediante catalizador (Metanol) del aceite o grasa, liberándose los ésteres metílicos de los ácidos grasos y glicerina.

La reacción química elemental es el siguiente:



**Figura N° 10. Reacción química para la producción de Biodiésel con catalizador**



Fuente: (Organic Chemistry L. G. Wade, Junior. Third Edition.)

De la ecuación anterior se desprende que:

- 1 litro de grasa o aceite reaccionan con 0.2 litros de un alcohol de cadena corta, ya sea Metanol o Etanol, en presencia de un catalizador KOH o NaOH, para producir 0.2 litros de glicerina y 1 litros de biodiesel.
- El alcohol se agrega en exceso para aumentar la velocidad de reacción.
- El catalizador es previamente mezclado con el alcohol.

- R', R'', y R''' indican las cadenas de ácidos grasos que componen el aceite o grasa.

La reacción que tiene lugar se puede dividir en las siguientes fases:

- ❖ Los triglicéridos que forman los ácidos constituyentes de los aceites se transforman en ésteres metílicos (biodiesel), obteniéndose como subproductos una mezcla de glicérido.
- ❖ Una vez separados biodiesel y glicérido, por decantación, se retira de ambos el metanol residual mediante tratamiento con vapor.
- ❖ El último paso consiste en separar un residuo insoluble de biodiesel mediante filtración, para conseguir un producto limpio y homogéneo

La reacción se produce en medio alcalina y a baja temperatura, entre 20 y 50 °C. Los procesos con estas características se pueden dar en continuo o en discontinuo y como catalizadores alcalinos se pueden utilizar hidróxido sódico, potásico o metilato sódico. Normalmente la transesterificación se da en dos etapas y el lavado posterior también en dos etapas. En los procesos continuos la glicerina se separa mediante decantadores. En los procesos en discontinuo se utilizan depósitos de sedimentación. La fase de glicerina fuertemente ácida se separa mediante tratamiento ácido, con ácido sulfúrico, acético o fosfórico. [4][5][7][9].

Glicerina alcalina + ac. Sulfúrico = glicerina + ac. Graso + sulfato potásico

Las tres fases se separan mediante decantador y la glicerina se re neutraliza y evapora. El poco homogénea. Ácido graso obtenido se puede someter a esterificación para optimizar el rendimiento del proceso.

Las materias primas más comunes utilizadas para la fabricación de biodiésel son los aceites de fritura usados y el aceite de girasol (el contenido medio del girasol en aceite es de 44% por lo que en otros países y particularmente en España la mejor opción será la agricultura energética). También se están realizando pruebas con aceite de colza y con Brassica carinata. [Vicente 1998, 2001].

Cualquier materia que contenga triglicéridos puede utilizarse para la producción de biodiésel (girasol, colza, soja, aceites de fritura usado, sebo de vaca,...). Por otra parte en España y otros países europeos, la utilización de los aceites usados no es todavía

significativa. A continuación en la cuadro N° 6, se detallan las principales materias primas para la elaboración de biodiésel.

**Cuadro N° 6. Principales Materias Primas para la producción de Biodiésel**

(Fuente: Miliarium.com)

Aceites Convencionales	Aceites Vegetales Alternativos	Otras fuentes
Girasol	Brassica carinata	Aceite de semillas modificadas genéticamente
Coco	Camelina sativa	Aceites de micro algas
Soja	Crambe abyssinica	Aceites de producciones microbianas
Palma	Pogianus	Aceites de fritura

**a) Aceites Vegetales convencionales**

Las materias primas utilizadas convencionalmente en la producción de biodiésel han sido los aceites de semillas oleaginosas como el girasol y la colza (Europa), la soja (Estados Unidos) y el coco (Filipinas); y los aceites de frutos oleaginosos como la palma (Malasia e Indonesia). Por razones climatológicas, la colza (*Brassica napus*) se produce principalmente en el norte de Europa y el girasol (*Helianthus annuus*) en los países mediterráneos del sur, como España o Italia. Sin embargo, la dedicación de sólo las tierras de retirada para la producción de materias primas energéticas supone un riesgo por cuanto estas superficies varían en el tiempo, ya que el régimen de retirada de tierras depende de la oferta y la demanda de cereales alimentarios, lo que implica que este índice está sujeto a alteraciones.

**b) Aceites Vegetales alternativos**

Además de los aceites vegetales convencionales, existen otras especies más adaptadas a las condiciones del país donde se desarrollan y mejor posicionadas en el ámbito de los cultivos energéticos. En este sentido, destacan la utilización, como materias primas de la producción de biodiésel, de los aceites de *Camelina sativa*, *Crambe abyssinica* y *Jatropha curcas*.

Existen otros cultivos que se adaptan mejor a las condiciones y que presentan rendimientos de producción mayores. En concreto, se trata de los cultivos de *Brassica carinata*. La *Brassica carinata* es una alternativa real al secano y regadío extensivo. La *Cynara cardunculus* es un cultivo plurianual y permanente, de unos diez años de

ocupación del terreno, y orientado fundamentalmente a la producción de biomasa, aunque también pueden aprovecharse sus semillas para la obtención de aceite. Se obtienen de 2,000 a 3,000 kilogramos de semillas, cuyo aceite sirve de materia prima para la fabricación de biodiésel.

**c) Aceites Vegetales modificados genéticamente**

Los aceites y las grasas se diferencian principalmente en su contenido en ácidos grasos. Los aceites con proporciones altas de ácidos grasos insaturados, como el aceite de girasol o de *Camelina sativa*, mejoran la operatividad del biodiésel a bajas temperaturas, pero disminuyen su estabilidad a la oxidación, que se traduce en un índice de yodo elevado. Por este motivo, se pueden tener en consideración, como materias primas para producir biodiésel, los aceites con elevado contenido en insaturaciones, que han sido modificados genéticamente para reducir esta proporción, como el aceite de girasol de alto oleico.

**d) Aceites de fritura usados**

El aceite de fritura usado es una de las alternativas con mejores perspectivas en la producción de biodiésel, ya que es la materia prima más barata, y con su utilización se evitan los costes de tratamiento como residuo. España es un gran consumidor de aceites vegetales, centrándose el consumo en aceite de oliva y girasol. Por su parte, los aceites usados presentan un bajo nivel de reutilización, por lo que no sufren grandes alteraciones y muestran una buena aptitud para su aprovechamiento como biocombustible.

Además, como valor añadido, la utilización de aceites usados significa la buena gestión y uso del residuo, el informe sobre el marco regulatorio de los carburantes propone reciclar aceite de fritura en biodiésel, este aceite da problemas al depurar el agua; sin embargo, su recogida es problemática. La Comisión Europea propone que el Ministerio de Medio Ambiente y los Ayuntamientos creen un sistema de recogida de aceite frito, oleínas y grasas en tres etapas: industrial, hostelería y doméstica, con especial atención a su control y trazabilidad debido a su carácter de residuo.

**e) Grasas animales**

Además de los aceites vegetales y los aceites de fritura usados, las grasas animales, y más concretamente el sebo de vaca, pueden utilizarse como materia prima de la transesterificación para obtener biodiésel. El sebo tiene diferentes grados de calidad respecto

a su utilización en la alimentación, empleándose los de peor calidad en la formulación de los alimentos de animales. La aplicación de grasas animales surgió a raíz de la prohibición de su utilización en la producción de piensos, como salida para los mismos como subproducto. Sin embargo, actualmente no existe un nivel de aplicación industrial en Piura.

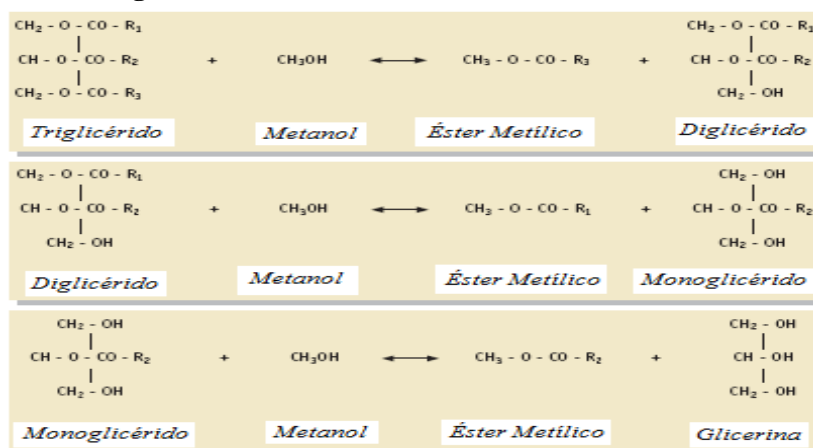
#### f) Aceites de otras fuentes

Por otra parte, es interesante señalar la producción de lípidos de composiciones similares a los aceites vegetales, mediante procesos microbianos, a partir de algas, bacterias y hongos, así como a partir de micro algas.

#### 2.4.2.3 La Trans-Esterificación.

La reacción química como proceso industrial utilizado en la producción de biodiésel, es la transesterificación, que consiste en tres reacciones reversibles y consecutivas. El triglicérido es convertido consecutivamente en diglicérido, monoglicérido y glicerina. En cada reacción un mol de éster metílico es liberado. Todo este proceso se lleva a cabo en un reactor donde se producen las reacciones y en posteriores fases de separación, purificación y estabilización. Las tecnologías existentes, pueden ser combinadas de diferentes maneras variando las condiciones del proceso y la alimentación del mismo. La elección de la tecnología será función de la capacidad deseada de producción, alimentación, calidad y recuperación del alcohol y del catalizador. En general, plantas de menor capacidad y diferente calidad en la alimentación (utilización al mismo tiempo de aceites refinados y reutilizados) suelen utilizar procesos Batch o discontinuos. Los procesos continuos, sin embargo, son más idóneos para plantas de mayor capacidad que justifique el mayor número de personal y requieren una alimentación más uniforme.

**Figura N° 11. Reacciones de Trans-Esterificación**



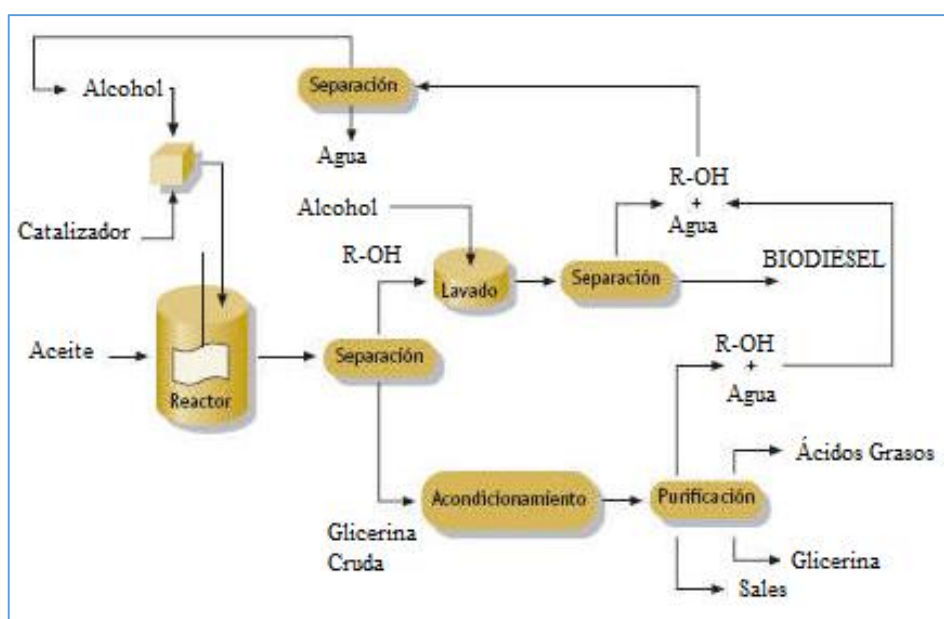
Fuente: (Organic Chemistry L. G. Wade, Junior. Third Edition.).

### Proceso Discontinuo:

Es el método más simple para la producción de biodiésel donde se han reportado ratios 4:1 (alcohol: triglicérido). Se trata de reactores con agitación, donde el reactor puede estar sellado o equipado con un condensador de reflujo. Las condiciones de operación más habituales son a temperaturas de 65°C, aunque rangos de temperaturas desde 25°C a 85°C también han sido publicadas. El catalizador más común es el NaOH, aunque también se utiliza el KOH, en rangos del 0,3% al 1,5% (dependiendo que el catalizador utilizado sea KOH o NaOH). Es necesaria una agitación rápida para una correcta mezcla en el reactor del aceite, el catalizador y el alcohol. Hacia el fin de la reacción, la agitación debe ser menor para permitir al glicerol separarse de la fase éster. Se han publicado en la bibliografía resultados entre el 85% y el 94%.

En la transesterificación, cuando se utilizan catalizadores ácidos se requiere temperaturas elevadas y tiempos largos de reacción. Algunas plantas en operación utilizan reacciones en dos etapas, con la eliminación del glicerol entre ellas, para aumentar el rendimiento final hasta porcentajes superiores al 95%. Temperaturas mayores y ratios superiores de alcohol: aceite pueden asimismo aumentar el rendimiento de la reacción. El tiempo de reacción suele ser entre 20 minutos y una hora. En la figura N° 12 se reproduce un diagrama de bloques de un proceso de trans-esterificación en discontinuo.

**Figura N°12. Proceso de Trans-Esterificación en Discontinuo.**



(Fuente: Miliarium.com).



### **Proceso Continuo:**

Una variación del proceso discontinuo es la utilización de reactores continuos del tipo tanque agitado, los llamados CSTR del inglés, Continuous Stirred Tank Reactor. Este tipo de reactores puede ser variado en volumen para permitir mayores tiempos de residencia y lograr aumentar los resultados de la reacción. Así, tras la decantación de glicerol en el decantador la reacción en un segundo CSTR es mucho más rápida, con un porcentaje del 98% de producto de reacción. Un elemento esencial en el diseño de los reactores CSTR es asegurarse que la mezcla se realiza convenientemente para que la composición en el reactor sea prácticamente constante. Esto tiene el efecto de aumentar la dispersión del glicerol en la fase éster.

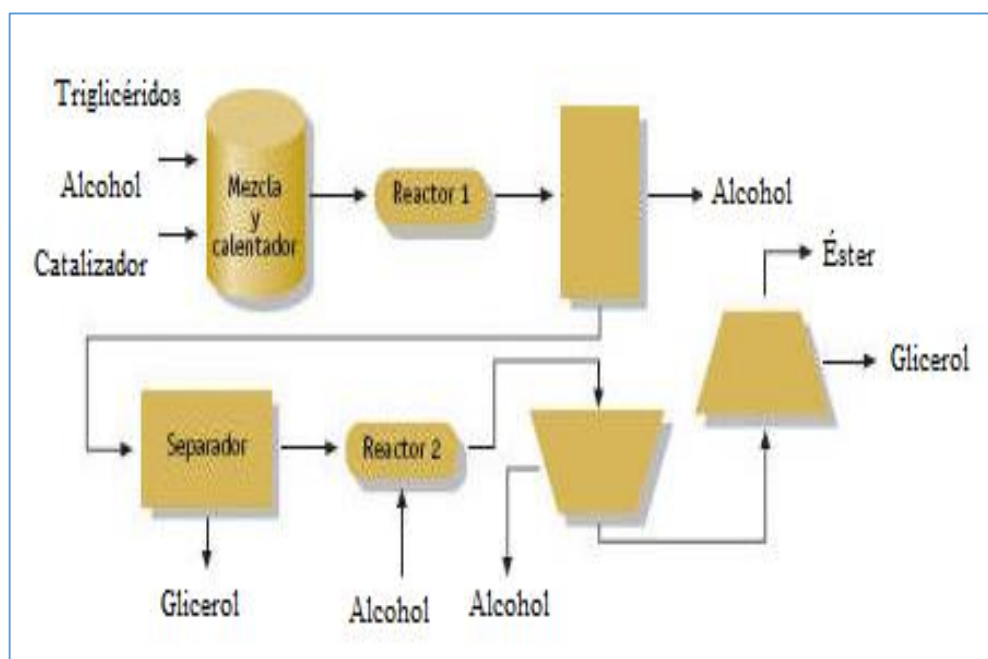
El resultado es que el tiempo requerido para la separación de fases se incrementa. Existen diversos procesos que utilizan la mezcla intensa para favorecer la reacción de esterificación. El reactor que se utiliza en este caso es de tipo tubular. La mezcla de reacción se mueve longitudinalmente por este tipo de reactores, con poca mezcla en la dirección axial. Este tipo de reactor de flujo pistón, Plug Flow Reactor (PFR), se comporta como si fueran pequeños reactores CSTR en serie. El resultado es un sistema en continuo que requiere tiempos de residencia menores (del orden de 6 a 10 minutos) con el consiguiente ahorro, al ser los reactores menores para la realización de la reacción. Este tipo de reactor puede operar a elevada temperatura y presión para aumentar el porcentaje de conversión.

En la figura N° 13 se presenta un diagrama de bloques de un proceso de transesterificación mediante reactores de flujo pistón. En este proceso, se introducen los triglicéridos con el alcohol y el catalizador y se somete a diferentes operaciones (se utilizan dos reactores) para dar lugar al éster y la glicerina.

Dentro de la catálisis heterogénea los catalizadores básicos se desactivan fácilmente por la presencia de ácidos grasos libres (FFA) y de agua que favorece la formación de los mismos. Para tratar alimentaciones con cierto grado de acidez, se prefiere la esterificación de los ácidos grasos libres con superácidos que a su vez presenten una elevada velocidad de reacción de transesterificación, lo que implica que se requiera de dos reactores con una fase intermedia de eliminación de agua. De este modo, alimentaciones con hasta un 30% en FFA se pueden esterificar con metanol, reduciendo la presencia de FFA por debajo del 1%. Esta

etapa previa de esterificación se puede llevar a cabo con alcoholes superiores o glicerina que resulta atractiva en la producción de biodiésel puesto que es un subproducto del proceso.

**Figura N° 13. Proceso de Obtención de Biodiésel mediante reactores de flujo pistón.**



(Fuente: Miliarium.com)

#### 2.4.2.4 Características Fisicoquímicas del biodiesel según norma ASTM.

**Cuadro N° 7. Características Fisicoquímico del biodiesel**

Ensayo	Unidad	Biodiesel BD100	Método ASTM
Apariencia	---	Brillante	---
Color ASTM	---	< 2.0	D-6045-04
<b>VOLATILIDAD</b>		---	
Densidad a 15.6 °C	°API	26.9	D-1298-99e2
Densidad a 15.6 °C	Kg/m <sup>3</sup>	894.0	D-1298-9942
Destilación a 760 mmHg	---	---	d-86-05
Punto inicial de ebullición	°C	210.0	---
10% V recuperado	°C	325.0	---
50% V recuperado	°C	333.0	---
90% V recuperado	°C	360.0	---
Punto final de ebullición	°C	365.0	---
Punto de inflamación, Pensy Martens.	°C	81.0	D-93-02a
<b>FLUIDEZ</b>		---	---
Viscosidad cinemática a 40°C	cSt	5.47	D-445-03
<b>COMBUSTIÓN</b>		---	---
Poder calorífico	BTU/Lb	19 301	D-4868
Índice de cetano	---	51.7	D-4737-05
<b>CONTAMINANTES</b>		---	---
Azufre total, % masa.	%m	0.010	D-4294-03

Fuente: Morales Curo, J.; Morán Paredes F. 2006.

#### **2.4.2.5 Contaminantes del Biodiesel BD100**

Los contaminantes más frecuentes en el Biodiesel incluyen materia no saponificable, agua, glicerina libre, alcohol, ácidos grasos libres, jabones, catalizador remanente y productos de oxidación.

Toda materia contenida en los aceites que no sea materia grasa se denomina insaponificable. Se conocen con el nombre de gomas y comprende las siguientes: Polipépticos, lecitina, proteínas, mucilágenos, esteroides, etc. Al no participar en las reacciones de trans-esterificación, forman compuestos no deseados en el biodiesel. Esto puede alterar el funcionamiento del motor (Morales Curo, J.; Morán Paredes F. 2006).

La presencia de agua durante la reacción es tal vez uno de los mayores focos de contaminación, ya que favorece la saponificación y no la trans-esterificación, produciendo jabones y disminución del rendimiento. En forma de emulsión su presencia es no deseada en el producto final, vale aclarar que el agua es muy soluble en determinados ésteres, pudiendo alcanzar concentraciones superiores al 0.15%.

El biodiesel tiene la ventaja de ser muy biodegradable, sin embargo es muy susceptible a ser contaminado por microorganismos.

La glicerina libre, es un producto de la reacción de trans-esterificación y en general no se encuentra presente si el éster es lavado con agua, ya que la glicerina siendo muy polar tiene mucha afinidad con el agua. Sin embargo pueden aparecer productos sedimentados, la cual podría causar depósito en el motor.

Los ácidos grasos libres y los jabones son compuestos relacionados. En general el biodiesel es producido utilizando un catalizador como el hidróxido de sodio. Cualquier ácido graso presente reaccionará con el catalizador en presencia de agua para formar jabones. Y estos pueden ser removidos en la etapa de lavado, aunque su presencia en exceso dificulta enormemente esta etapa. Durante el funcionamiento del motor, el metal proveniente del jabón o catalizador puede formar cenizas.

El proceso de auto oxidación del biodiesel no se da por la presencia de contaminantes, sino por la naturaleza misma de los ácidos que lo constituyen, presentando algunos inconvenientes.

#### **2.4.2.6 Ventajas y Desventajas del Biodiesel BD100**

##### **Ventajas**

Son muchas las ventajas que nos ofrece el uso del biodiesel, citamos algunas de ellas:

- Reduce las emisiones de CO<sub>2</sub> y material particulado en comparación con el diésel.
- Reduce en un 90% la cantidad de hidrocarburos totales no quemados
- No contiene productos orgánicos aromáticos, cancerígenos.
- No es nocivo para la salud humana, animales y vegetales.
- Es muy biodegradable, en 28 días desaparece todo
- No contamina el suelo.

##### **Desventajas**

- No se puede almacenar por periodos mayores a 6 meses.
- Su combustión genera en la atmósfera óxidos de nitrógeno.
- Es muy susceptible a ser contaminado por microorganismos.
- Presenta escasa estabilidad oxidativa

#### **2.4.3 Aplicación para la producción de JABÓN GEL para manos.**

Hoy en día es primordial aprovechar al máximo los recursos que tenemos a nuestra disposición, ya que sin darnos cuenta podremos estar dejando ir oportunidades, literalmente las estaremos tirando a la basura, el aprovechamiento de un recurso tan cercano como lo es el aceite vegetal usado, brinda una nueva oportunidad de obtener beneficios económicos, ambientales y sociales. La tendencia del desarrollo de nuevas tecnologías sustentables es creciente así que por que esperar a que otros vengan a aplicarla cuando en nuestras manos está la oportunidad, con un poco de inversión, un tanto más de voluntad y un toque de ingeniería podemos reinventar un proceso milenario como es la fabricación de jabón a partir de los aceites y grasas. El presente proyecto está dirigido hacer de los desechos de aceites vegetales usados para obtener beneficios económicos y a la vez contribuir con la conservación del medio ambiente, en la presentación de este proceso en el cual se detallarán los beneficios que podrá obtener las personas por la aplicación de este proceso.

#### 2.4.3.1 El jabón

Químicamente, el jabón es la sal sódica o potásica de un ácido graso, que se obtiene por hidrólisis alcalina de los ésteres contenidos en los materiales grasos. Si se escinde una grasa con un álcali, en lugar de con agua, se obtienen glicerina y una sal o jabón del metal alcalino con el ácido graso. Esta reacción se llama saponificación y es la base de la industria del jabón. [3][4][9].

El ion de la base (Na o K) provoca la separación de los ácidos grasos unidos al glicerol. De esta manera los ácidos grasos libres recién creados se unen al sodio o potasio formando la molécula del jabón. Los álcalis más usados en la saponificación son el hidróxido de sodio (sosa cáustica) y el de potasio (potasa cáustica. Si la saponificación se efectúa con sosa, se obtendrán los jabones de sodio (jabones duros), que son sólidos y ampliamente usados en el hogar.

En caso de hacerlo con potasa, se obtendrán jabones de potasio (jabones blandos), que tienen consistencia líquida.

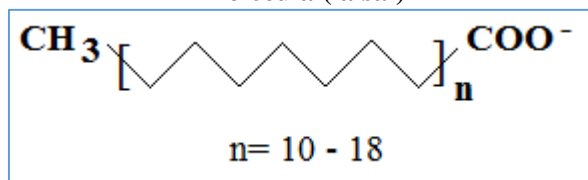
El agua es necesaria en la reacción ya que actúa como una especie de “catalizador”. Es el medio para que reaccionen triglicérido y álcali. Los jabones se nombran dependiendo del ácido graso del que provengan. Por ejemplo, un jabón formado por el ácido esteárico (común en las grasas animales) y por sosa, recibe el nombre de estearato de sodio. Otros jabones comunes son: palmitato de sodio, oleato de potasio, laurato sódico, etc. Éste es el caso más sencillo, cuando los 3 ácidos grasos del triglicérido coinciden. En caso de que no, el nombre se complica algo más. El ácido graso puede ser de origen vegetal o animal, sólido o líquido, por ejemplo, sebo, manteca de cerdo, aceite de coco, de oliva, etc. Los jabones son agentes tensioactivos o surfactantes. Se trata de sustancias que disminuyen la tensión superficial de un líquido o que actúan sobre la superficie de contacto entre dos fases, por ejemplo dos líquidos inmiscibles. Los tensioactivos o surfactantes se pueden clasificar en cuatro grandes grupos, atendiendo a sus propiedades:

- Aniónicos: contienen carga negativa en solución acuosa (jabones, alquilbenceno sulfonatos lineales, alfa olefín sulfonatos, dialquil sulfonatos, etc.).
- Catiónicos: contienen carga positiva en solución acuosa (a minas grasas y sales, sales de amonio cuaternarias, etc.).

- No iónicos: no se disocian en el agua, carecen de carga (alquil fenoles polietoxilados, alcoholes grasos polietoxilados, etc.).
- Anfóteros: dependiendo del pH se comportan como aniónicos o catiónicos (aminoácidos, las betaínas o los fosfolípidos).

Los jabones se engloban en el primer grupo, tensioactivos aniónicos. Éstos comprenden aquellos compuestos que poseen uno o varios grupos funcionales que se ionizan en disolución acuosa originando iones con carga negativa y que son los responsables de la actividad superficial. Por ello es necesaria la presencia del agua en la reacción de saponificación. Tienen un resto hidrófobo alquílico y un grupo polar carboxílico. Son de fácil preparación por neutralización de ácidos grasos o por saponificación de acilglicerolos, y poseen excelentes propiedades para su uso como jabones de tocador o como aditivos en composiciones detergentes. Pese a las ventajas que se han comentado, también tienen algunos inconvenientes: son inestables en aguas duras y en disoluciones a pH ácido, así como insolubles en presencia de electrolitos. Por ello habrá que tener especial cuidado con el agua que usemos en la mezcla de saponificación de nuestro proceso, ya que debe de estar desionizada, controlando, además el pH de la mezcla.

**Figura N° 14. Fórmula General de un tensioactivo aniónico, sin la parte positiva de la molécula (la sal)**



Fuente: Carmen E. Guerrero González, 2014

Como podemos ver, existen innumerables tipos de jabones. Las diferencias principales radican en aspectos visuales, de textura, olor, consistencia, propiedades limpiadoras o terapéuticas, etc. Algunos de los tipos más conocidos son el jabón de Marsella, el de Castilla, etc.

Tanto los jabones de tocador como los detergentes parten de la misma base, la diferencia está en que los jabones se fabrican a partir de sustancias naturales, como grasas animales y vegetales, mientras que los detergentes se elaboran a partir de materias primas sintéticas. El jabón es básicamente una sal obtenida de las grasas, que resulta soluble en el

agua. La saponificación es la reacción de una solución alcalina con las grasas animales y vegetales (sebo y aceites).

El jabón, ese producto que nos acompaña todos los días en el cuidado de nuestra piel, higienizándola y cuidando de mejorar su apariencia, ha ido tomando a lo largo de la historia diferentes formatos y variedades, una vez que se ha conocido cómo actúa sobre los distintos tipos de piel y sobre todo que en algunos casos puede producir irritaciones. (Costa, 2012)

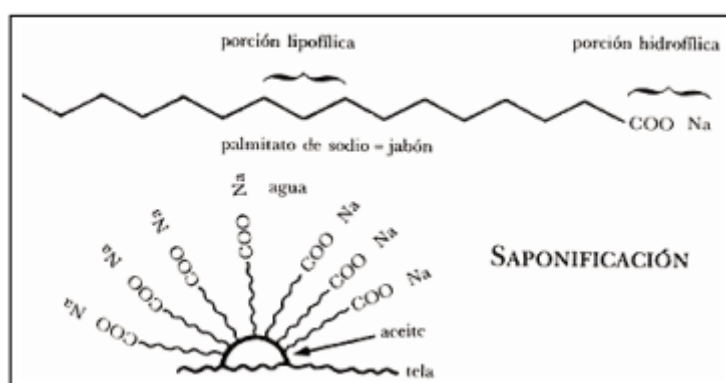
Se han diversificado los estilos de jabones según la característica propia de cada piel y las necesidades que requiere. Sin embargo, sus diferentes tamaños o estilos no implican que unos sean más higiénicos que otros. El jabón está hecho a base de componentes como el potasio y el sodio que permiten estimular su efecto.

### ¿Cómo limpian los jabones?

Los jabones y detergentes ejercen su acción limpiadora sobre las grasas en presencia del agua debido a la estructura de sus moléculas, ya que poseen dos partes diferenciadas:

- Una parte hidrofóbica o lipofílica (liposoluble), por medio de la cual se une a la grasa o aceite, disolviéndola. Repele al agua y es apolar (la cola en la figura N° 15).
- Una parte hidrofílica (hidrosoluble), que tiene afinidad por el agua, por lo que se une con ella. Hace que el jabón se disuelva a su vez en agua (la cabeza en la figura N° 15). Las manchas de grasa no se pueden eliminar sólo con agua por ser insolubles en ella. El jabón en cambio, que es soluble en ambas, permite que la grasa se diluya en el agua formando una emulsión.

**Figura N° 15. Estructura Molecular de las partes de un jabón.**



Fuente: Carmen E. Guerrero González, 2014



Cuando un jabón se disuelve en agua disminuye la tensión superficial de ésta, con lo que favorece su penetración en los intersticios de la sustancia a lavar. Por otra parte, los grupos hidrofóbicos del jabón se disuelven unos en otros, mientras que los grupos hidrofílicos se orientan hacia el agua generando un coloide, es decir, un agregado de muchas moléculas convenientemente orientadas. Como las micelas coloidales están cargadas y se repelen mutuamente, presentan una gran estabilidad.

La agitación ayuda a que se rompan estas micelas de grasa y que las superficies antes sucias se vuelvan hidrofílicas. Las gotitas de grasa se repelen unas a otras lo que las mantiene suspendidas en el agua hasta el aclarado.

#### **2.4.3.2 Tipos de JABONES.**

En el mercado existen distintos tipos de jabones:

- ***Los jabones comunes:*** sólidos y espumosos, hechos por lo general con sebo grasoso y sodio o potasio. Se indican para todo tipo de pieles y en algunos casos pueden usarse para lavar el cabello.
- ***Los jabones humectantes:*** suelen tener aceites vegetales, otros poseen cremas humectantes en su composición, o grasas enriquecidos con aceite de oliva, avellana y otros. Los hay también de glicerina. Son útiles para las pieles secas o dañadas por el uso de detergentes.
- ***Los jabones suaves:*** tienen en su composición aguas termales y son recomendados para las pieles sensibles.
- ***Los jabones líquidos:*** que se presentan como una loción de limpieza. Su poder efectivo varía y no todos tienen la misma eficacia.
- ***Los jabones dermatológicos:*** contienen agentes de limpieza sintética muy suave, a los que se añaden vegetales que contribuyen a cerrar los poros, aliviando las irritaciones y frenando la aparición de acné o puntos negros. Con estos jabones la piel no se descama. Son recomendados para pieles que arrastran inconvenientes, ya sea de modo permanente o estacional, o ante apariciones puntuales de irritaciones.
- ***Los jabones de glicerina:*** son neutros, no suelen humectar la piel, al contrario, en algunas ocasiones tienden a resecarlas y se recomiendan para las pieles grasas. Por lo general, la glicerina tiene un efecto más duradero que los jabones comunes.

- **Los jabones terapéuticos:** son recetados por los médicos, algunos se recomiendan para psoriasis, para micosis cutáneas y otros para limpieza profunda de cutis.

Por último se encuentran los jabones utilizados por la mayoría que son aquellos aromáticos a los que se les agrega esencias florales o frutales, no recomendables para pieles sensibles o las personas alérgicas. También tienen un efecto relajante en algunos casos, según la esencia floral que contengan. (Costa, 2012).

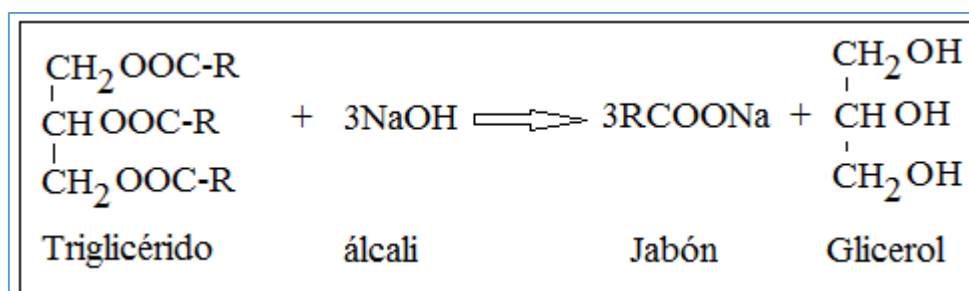
### 2.4.3.3 Fuentes de obtención de jabones.

#### La Química de los Jabones Naturales.

Es sorprendente que, a pesar de los avances técnicos y el desarrollo científico en los últimos años, el jabón clásico todavía esté infinita de campos basado en la misma química que los jabones antiguos. Como se ha comentado anteriormente en esta memoria, el jabón es fabricado por el proceso de saponificación, por el cual los triglicéridos (grasas y aceites) o ácidos grasos se transforman en las correspondientes mezclas de sal de álcali de ácidos grasos. Actualmente se pueden distinguir tres métodos para obtenerlos:

- Por **saponificación directa de las grasas neutras, o hidrólisis alcalina de ésteres;** en la cual los triglicéridos presentes en el aceite y/o grasa son saponificados directamente con el álcali aplicando un hervido o semi-hervido.

**Figura N° 16. Reacción de Saponificación Directa.**

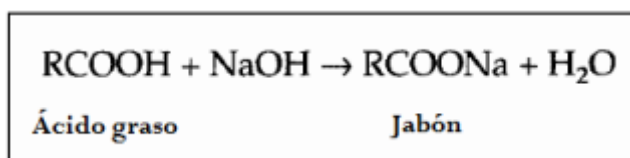


Fuente: Carmen E. Guerrero González, 2014

Se obtiene una mezcla de dos fases, una formada por el jabón y la otra por glicerina. Esta mezcla se trata con la sal para precipitar el jabón y así poder separarlas. A continuación se lava y se seca la fase superior, mezcla resultante llamada “jabón base”. La fase inferior glicerosa, contiene agua y glicerol principalmente, se puede purificar para obtener glicerina, subproducto de esta reacción.

- Por **neutralización de los ácidos grasos libres con un álcali**, con liberación de agua. El ácido graso destilado, obtenido de los triglicéridos por hidrólisis, se neutraliza con la base. En este caso no se obtiene glicerina como subproducto, si no que se obtiene agua.

**Figura N° 17. Reacción de Neutralización de ácidos grasos libres.**

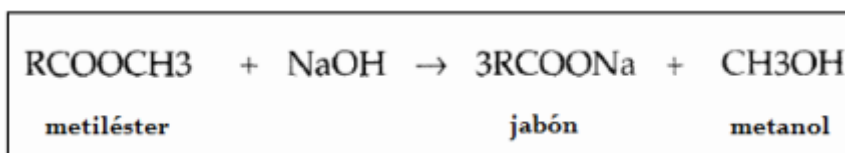


Fuente: Carmen E. Guerrero González, 2014

El producto obtenido por los métodos 1 y 2 es lo que se llama “jabón base“, y tiene un contenido de ácido graso del 63 a 75%. Estos procesos engloban más del 95% de la producción mundial de jabón.

- El último método se realiza mediante **saponificación del metiléster con un álcali**. El metiléster es obtenido por transesterificación catalítica de triglicéridos con el metanol o esterificación catalítica directa de ácidos grasos con el metanol. El producto final de este proceso tiene un contenido de ácido graso más alto, a cargo de un proceso más costoso.

**Figura N° 18. Reacción del Metil-éster con sosa.**



Fuente: Carmen E. Guerrero González, 2014

#### **2.4.3.4 El proceso de fabricación del jabón**

El proceso de fabricación de jabón es, a grandes rasgos es el siguiente:

- Se coloca el aceite o grasa en un recipiente de acero inoxidable (paila).
- Se calienta la paila mediante un serpentín o camisa de calefacción por donde circula vapor.
- Cuando la grasa se ha fundido o el aceite se ha calentado a unos 80-100° C, se agrega lentamente y con agitación continua la solución acuosa de álcali (sosa o potasa).
- Se continúa agitando hasta obtener la saponificación total.

- Se agrega una solución de sal común, NaCl o KCl (dependiendo del álcali que hayamos elegido), para que el jabón se separe y quede flotando sobre la solución acuosa que contiene glicerina.
- Se recoge el “jabón base” y se le agregan colorantes, perfumes, aromas u otros ingredientes, dependiendo del uso que se le quiera dar.
- Si el jabón que vamos a producir va a ser en barras (sólido, llamado comúnmente jabón de tocador), se enfría y se corta en porciones, las que enseguida se secan y prensan, dejando un material con un contenido de agua en torno al 35%. Si por el contrario vamos a obtener un jabón líquido, se deja enfriar, pero menos tiempo que el anterior, y se le añade más agua junto con los ingredientes finales, para embotellarlo.

#### **2.4.3.5 Métodos de obtención del JABÓN.**

Existen varios métodos y variaciones para obtener jabones, pero principalmente pueden resumirse en dos tipos:

a) **Proceso en frío** o CP (Cold Process)

b) **Proceso en caliente** o HP (Hot Process)

Ambos procesos usan la saponificación directa como reacción principal, aunque cada uno presenta algunas variantes que se detallan a continuación.

El proceso en frío es más común en la elaboración artesanal de jabón por ser más sencillo de realizar, mientras que el proceso en caliente es más complicado y requiere de mayor temperatura, pero en cambio posibilita la recuperación de productos cuya consecución no ha sido exitosa, mediante el fundido y reutilización de los mismos. Por esta razón es más utilizado en la elaboración industrial de jabón natural.

##### **Proceso en frío.**

Se parte desde los reactivos iniciales, aceites y/o grasas y disolución de álcali-agua, en frío, se suele hacer con hidróxido sódico y se obtienen jabones duros. El principal inconveniente de esta técnica ocurre cuando partimos de grasas sólidas (sebo). Para solventarlo se calientan y se mezclan con grasas líquidas (aceites) para conseguir una mezcla con un menor punto de fusión y por tanto líquida a temperatura ambiente.

Los jabones obtenidos por este proceso se deben someter a un proceso de curado, es decir, hay que dejarlos reposar de 4 a 8 semanas para que la reacción de saponificación se complete, y el jabón vaya adquiriendo un pH menos básico. Este tiempo de curación también permite que el jabón pierda el exceso de agua que tenga y se vaya endureciendo.

La reacción en frío se suele usar más para la elaboración artesanal y casera de jabones (jabón a partir de los aceites usados de uso doméstico).

El jabón obtenido suele tener color céreo, no es especialmente duro y se suele emplear rallado en forma de polvo.

#### **Reacción en caliente y gelificación.**

Consiste en tener el producto durante unas dos o tres horas entre 50°C y 80°C, bien en horno o al baño maría. El jabón permanece en un estado fluido y de mucha viscosidad (de ahí el nombre de gelificación). De esta forma se consigue que la saponificación se complete, por lo que no es necesaria la curación posterior del jabón obtenido.

Como ventaja de este método, cabe destacar que se pueden añadir aceites esenciales y colorantes después del proceso de saponificación, siempre y cuando el jabón aún no se haya solidificado. De esta forma preservamos estos componentes del pH básico del proceso de saponificación y que podría alterar su composición.

#### **2.4.3.6 Diversas Aplicaciones del Jabón**

Es sabido que la gran mayoría de la producción mundial del jabón se destina a su utilización como agente de limpieza, pero existen también otros usos importantes como agente emulsionante en algunos otros sectores que se detallan a continuación:

- **Limpieza y lavandería:** se destina un alto porcentaje del jabón producido para el aseo y lavado doméstico y para empresas comerciales de lavandería.
- **Textil:** los jabones se usan en operaciones de lavado, remojo, encurtido, impermeabilización, abrillantado, etc.
- **Alimentación:** en industrias y establecimientos donde se manipulan productos alimenticios, los jabones se usan para las manos y ropa de los operarios, para los equipos, en los locales, suelo, para limpiar frutas y verduras, etc., siempre y cuando se cumpla con la normativa de higiene y seguridad.

- **Sanitario:** los jabones de potasa son utilizados en la limpieza de hoteles, fábricas, restaurantes, tiendas y edificios de oficinas. También se usan jabones líquidos para manos en los aseos de estos establecimientos, para el fregado de suelos; y en hospitales suelen incluir alcohol o agentes antimicrobianos para minimizar los gérmenes.
- **Pinturas:** el jabón forma parte de la formulación de las pinturas de tipo emulsión acuosa, que son resinas sintéticas emulsionadas en agua. También se usan para elaborar pigmentos.
- **Plásticos y caucho:** polimerización de emulsiones gracias al empleo del jabón.
- **Papel:** se usa como detergente, emulsionante y lubricante. Para fabricar acabados y recubrimientos.
- **Agricultura:** para fabricar insecticidas y evitar infecciones en el ganado.
- **Cosméticos:** por su poder emulsivo es el ingrediente por excelencia en casi todas las fórmulas de productos cosméticos. La mayor parte de los jabones empleados se forman in situ durante la mezcla de la fase acuosa y oleosa.

#### 2.4.3.7 Algunas Determinaciones Analíticas.

Durante la reacción de saponificación, hay que tener en cuenta varias determinaciones analíticas importantes:

- El índice de ácido o número de ácido (IA), que mide el grado de hidrólisis de una grasa. Se define como la masa de KOH en mg, requeridos para neutralizar los ácidos grasos libres en un gramo de grasa. También puede expresarse la acidez de una grasa en forma de porcentaje de ácidos grasos libres, suponiendo en el cálculo que los ácidos tienen un peso molecular igual al del ácido oleico. La relación entre el número de ácido y el porcentaje (%) de ácidos grasos libres, calculados como ácido oleico, es la siguiente:  $n^{\circ} \text{ácido} = 0.503\% \text{ ácidos graso libres}$ .

$$IA = \frac{\text{mg KOH requeridos para neutralizar}}{1 \text{ g grasa o aceite}}$$

- El índice de saponificación (IS) y otros índices relacionados, miden el peso molecular medio de la sustancia grasa. El IS se define como el número de miligramos de KOH requeridos para saponificar un gramo de grasa.

$$IS = \frac{\text{mg KOH requeridos para saponificar}}{1 \text{ g grasa o aceite}}$$

- El índice de neutralización es el número de miligramos de KOH necesarios para neutralizar un gramo de ácidos grasos (AG).

$$IN = \frac{\text{mg KOH requeridos para neutralizar}}{1 \text{ g AG}}$$

- El equivalente de saponificación (Eq. S), o de neutralización si se refiere a ácidos grasos, es el número de gramos de materia grasa saponificable por un mol de KOH. Es numéricamente igual al peso molecular medio de los ácidos, si el producto consta de ácidos grasos puros, o igual a una tercera parte del peso molecular medio de los glicéridos, si se supone que el producto consta enteramente de aceites neutros libres de materia insaponificable. Relación con el índice de saponificación:

$$IS \cdot \text{Eq. S} = 56,104 \left( \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right)$$

- El índice de esterificación (IE), es el número de miligramos de KOH requeridos para saponificar el aceite neutro contenido en un gramo de muestra y se relaciona con el IS así: l índice de saponificación, menos el número de ácido.

$$IE = IS - IA$$

#### 2.4.4 Otras aplicaciones

Los posibles aprovechamientos son los siguientes:

- ❖ Fabricación de lubricantes industriales.
- ❖ Fabricación de tenso activos: para la producción de jabones y detergentes.
- ❖ Aplicación en combustión directa o en mezcla: aprovechando el poder calorífico del aceite siempre que sea superior a 8500 kcal/kg.

## **2.5 IMPACTO AL MEDIO AMBIENTE POR ACEITES VEGETALES USADOS.**

La liberación de aceites y grasas al medio acuático, como sustancias hidrófobas de menor densidad, además de provocar un impacto estético, aportan otros contaminantes como la elevada DQO que se ha indicado en el apartado anterior y, en gran medida, afectan al intercambio gaseoso. Así, estas sustancias, una vez entran en el medio acuático, se difunden por la superficie reduciendo la oxigenación a través de la interfase aire-agua y la actividad fotosintética, ya que absorbe la radiación solar, disminuyendo así, además, la producción interna de oxígeno disuelto.

En numerosas publicaciones, cuando se hace referencia al poder contaminante del aceite usado, se cita que un litro contamina mil litros de agua. Para cuantificar realmente cuántos litros de agua contaminaría un litro de aceite, se realiza un ejercicio teórico de calcular cual es el grado de dilución que sería necesario para cumplir con las limitaciones habituales de vertido al medio natural en tres parámetros físico-químicos: Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Aceites y Grasas.

En el caso de la DQO y los SST, los límites de vertido que establecen los Organismos internacionales son respectivamente, 125 mgO<sub>2</sub>/litro y 35 mg/litro.

Según las características físico-químicas del aceite usado un litro de este residuo requiere:

- 27,200 litros de agua para alcanzar una DQO de 125 mgO<sub>2</sub>/litro.
- 1,300 litros de agua para conseguir llegar a 35 mg/l de SST.
- 40,000 litros de agua para que la concentración de Aceites y Grasas sea 20 mg/litro.

Por tanto, considerando la situación más desfavorable, se puede concluir que un litro de aceite usado contamina 40,000 litros de agua, que es equivalente al consumo de agua durante todo un año de una persona en su domicilio.

Los aceites y grasas en unión de restos de los detergentes y jabones de uso doméstico, llegan a provocar, en zonas de los colectores sujetas a velocidades de vehiculación bajas (poca pendiente, quiebros, bombeos), así como en desagües generales de viviendas, las denominadas “bolas de grasa”, capaces de generar situaciones de atascos en colectores y



elementos anexos, roturas y puestas en carga de los mismos. Además, dificultan el intercambio gaseoso entre agua residual y aire en contacto con ella.

## **2.6 ALMACENAJE Y CONSERVACIÓN DEL ACEITE VEGETAL USADO.**

Refinados o no, todos los aceites son sensibles al calor, la luz y la exposición al oxígeno. El aceite rancio tiene un olor desagradable y un gusto acre, y su valor nutricional queda muy menguado. Para retrasar este proceso, suele aplicarse un gas inerte, normalmente nitrógeno, al espacio restante del envase justo tras la producción, este proceso se denomina inertización.

Lo mejor es almacenar todos los aceites en el frigorífico o en un lugar seco y fresco. Los aceites pueden espesar, pero basta con dejarlos reposar a temperatura ambiente para que recuperen la fluidez. Para evitar los efectos negativos del calor y la luz, lo ideal es sacar los aceites del frío el tiempo imprescindible para que vuelvan a licuarse. Los aceites refinados ricos en grasas monoinsaturados aguantan hasta un año (si son de oliva, hasta varios años), mientras los ricos en grasa poliinsaturadas se conservan unos seis meses. Los aceites de oliva virgen y extra virgen se conservan un mínimo de 9 meses tras la apertura del envase. Otros aceites Monoinsaturados se conservan bien hasta ocho meses, mientras los aceites poliinsaturados sin refinar solo soportan aproximadamente la mitad.

## CAPÍTULO III

### 3. ESTUDIO Y GESTIÓN DE LOS ACEITES VEGETALES USADOS

#### 3.1 ZONIFICACIÓN

El sistema de gestión de aceites usados de cocina para producción de biodiesel será implantado en el distrito de Piura, Provincia de Piura, Departamento de Piura.

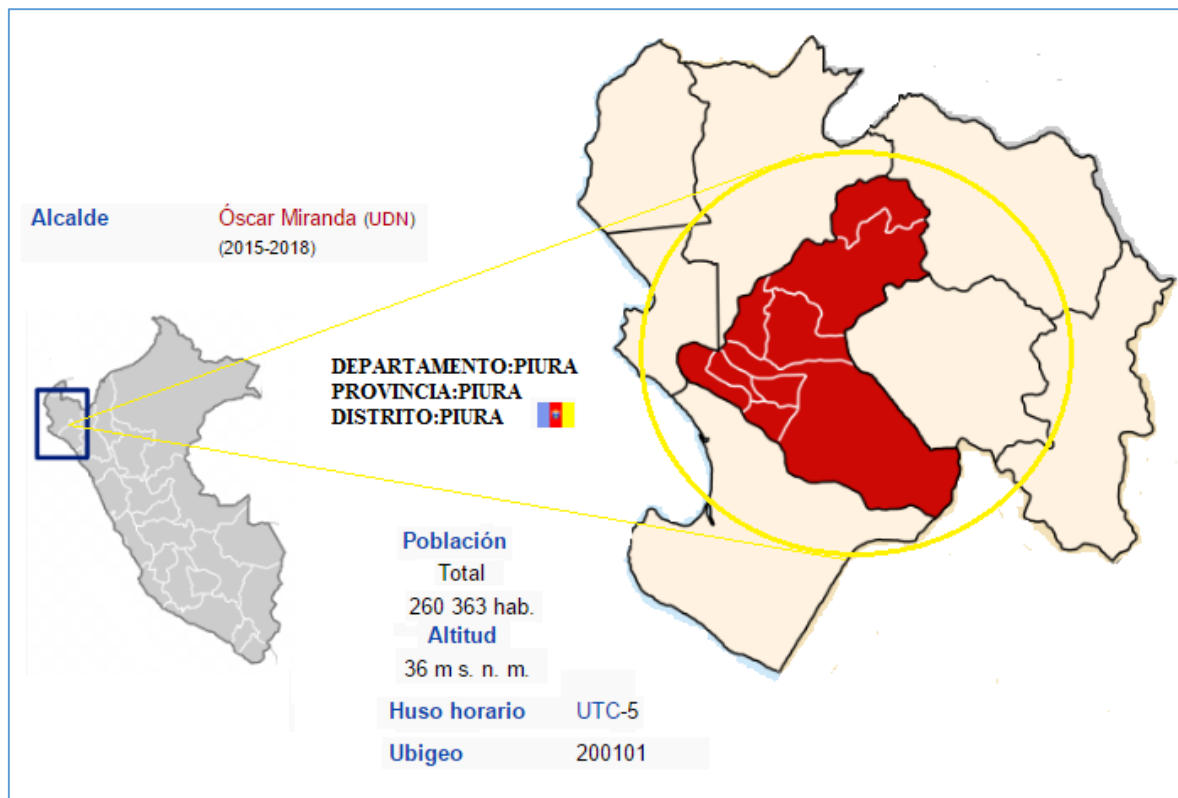
Para esquematizar la zona de aplicación, se hizo uso del aplicativo Google Earth, mostrando en la figura N° 19, la zona geográfica mencionada.

Se eligió este distrito debido a los siguientes factores:

- Mucha facilidad para el acceso a la zona desde la Planta.
- Alto nivel de conciencia por parte de los dueños de establecimientos de comida.
- Alto porcentaje de habitantes de clases A y B que desean mejorar su entorno.
- Mucha disponibilidad para aceptar cambios que conlleven a proteger el medio ambiente.

**Figura N° 19. Ubicación Geográfica del Distrito de Piura**

(Fuente: Wikipedia.com)



### Levantamiento de Información

El método aplicado para el desarrollo de esta investigación fue la encuesta del tipo personal que se hizo a los dueños de los restaurantes, cevicherías, chiflerías y establecimientos de comida rápida del distrito de Piura para medir la cantidad de aceite. Los instrumentos que se utilizaron para recolectar y registrar la información fue el uso de cuestionario y de la observación.

Se realizaron encuestas para conseguir información relevante en el desarrollo del tema, pudiendo determinar la cantidad de aceite y el tipo de uso que le dan a los aceites vegetales en los diferentes establecimientos de comida del distrito. Se trabajó con una muestra de 90 establecimientos de comida, de diferentes tipos, adecuadamente clasificados. La muestra fue aleatoria debido a que la encuesta se realizó en diferentes lugares del distrito de Piura. La ficha práctica y rápida de la encuesta aplicada para la toma de información es la que se indica en el cuadro N° 8.

Para el tamaño de la muestra se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{tamaño de muestra} = \frac{z^2 N p (1 - p)}{e^2 (N - 1) + Z^2 p (1 - p)}$$

Z: 1.96 para nivel de confianza 95%

N: 1445 restaurantes

P: 0.5

e: 10% = 0.1

Que remplazando en la fórmula se tiene que el tamaño de la muestra es de  $90.11 = 90$  establecimientos.

Cuadro N° 8. Formato de encuesta aplicada a los establecimientos.

ENCUESTA PARA LA GESTIÓN DE ACEITES USADOS DE COCINA PARA SU APROVECHAMIENTO	
LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN	N°
FECHA	/ /
<b>DATOS DEL ESTABLECIMIENTO</b>	
Nombre o Razón Social:	
Ruc / Dirección:	
Horario de Atención:	
Descripción del establecimiento:	
<b>DATOS DEL TIPO Y CONSUMO DE ACEITES VEGETALES</b>	
Marca de aceites vegetales que consume:	
Precios de Compra:	
Cantidad que compra (Litros / Día):	
Cantidad de aceite vegetal nuevo que usa (Litros / Día):	
Cantidad de aceite vegetal nuevo que Reusa (Litros / Día):	
Cantidad de veces que Reusa aceite vegetal (Litros/Día)	
Cantidad de aceite vegetal usado que desecha (Litros / Día):	
Proveedor:	
Tipo de alimentos en que usa el aceite:	
Tipo de cocina:	
Tipo de Combustible que usa:	
Destino de los residuos de aceites de cocina usados:	
<b>OBSERVACIONES</b>	
Piura, .....de.....del 2016	

### 3.2 GESTIÓN DE LOS ACEITES VEGETALES USADOS (AVU).

#### 3.2.1 Origen

Se ha determinado que los establecimientos de comida son los principales proveedores de aceites usados de cocina. Por lo general provienen de los desechos de frituras.

Para efectos del tema, se considera prudente clasificar los establecimientos de comida de acuerdo a la definición siguiente:

- **Pollería:** Local donde se vende pollo asado al carbón (brasa) y el pollo broaster, junto a las papas fritas como ingrediente. Las pollerías abundan en todas las ciudades del

Perú y el pollo a la brasa es un alimento consumido por todos los estratos socio-económicos de la sociedad peruana.

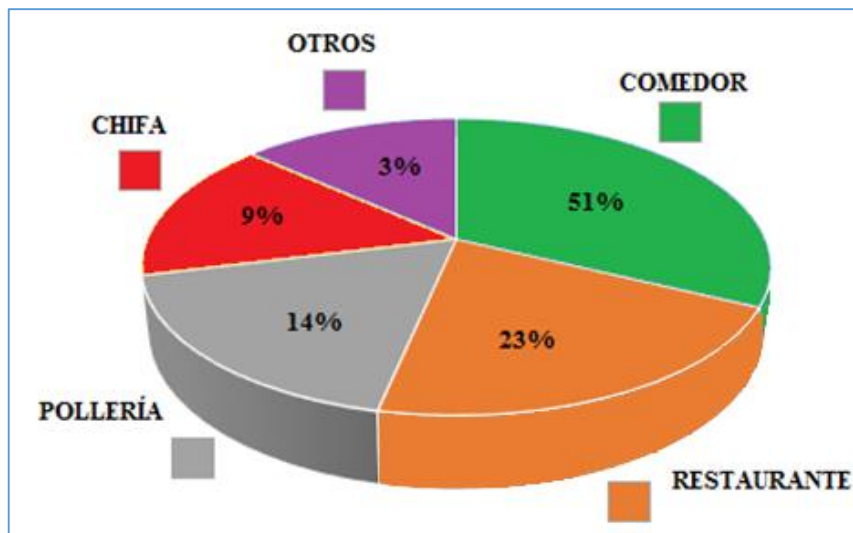
- **Chifa:** Restaurante donde se ofrece comida de costumbre china y adaptada al paladar de los peruanos por los mismos inmigrantes chinos. Por lo común los aceites vegetales usados provienen de las frituras del wantan, pollo en trozos, y papas fritas, que son los más solicitados por el público en general.
- **Restaurante:** Establecimiento comercial en donde se vende comida y bebida, para ser consumidas en el mismo local o para llevar.
- **Comedor:** Lugar especialmente equipado para la ingesta y degustación de alimentos y platos que se preparan por lo general para un público que desee disfrutar de comida casera y doméstica. Normalmente dispone de una mesa y sillas para tales efectos, pero el espacio disponible suele ser más pequeño que el de los restaurantes.
- **Otros:** Incluye a los diferentes locales pequeños como las que preparan los chifles de plátano, papa y camote. Además a los que preparan picarones, salchipapas, salchipollos y hamburguesas.

A partir de esta clasificación, podemos apreciar la aplicación de las encuestas según se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla N° 1. NÚMERO DE ESTABLECIMIENTOS DE COMIDA POR TIPO.**

N°	VALOR	FRECUENCIA	(%)
1	COMEDOR	29	51
2	RESTAURANTE	19	23
3	POLLERÍA	16	14
4	CHIFA	14	9
5	OTROS	12	3
	<b>TOTAL</b>	<b>90</b>	<b>100</b>

**GRÁFICO N° 1. Porcentaje de Establecimientos que usan Aceites Vegetales**



El tipo de establecimiento influye en la cantidad de AVU (aceite vegetal usado) generado. Se ha identificado, según la Gráfica N° 2, que los establecimientos que utilizan mayor cantidad de aceite vegetal nuevo (AVN), y por ende desechan mayor cantidad de AVU, son en primer lugar las pollerías, y le sigue los chifas. Pues estos establecimientos consumen mayor cantidad de aceite en las frituras.

#### **Consumo de AVN por día**

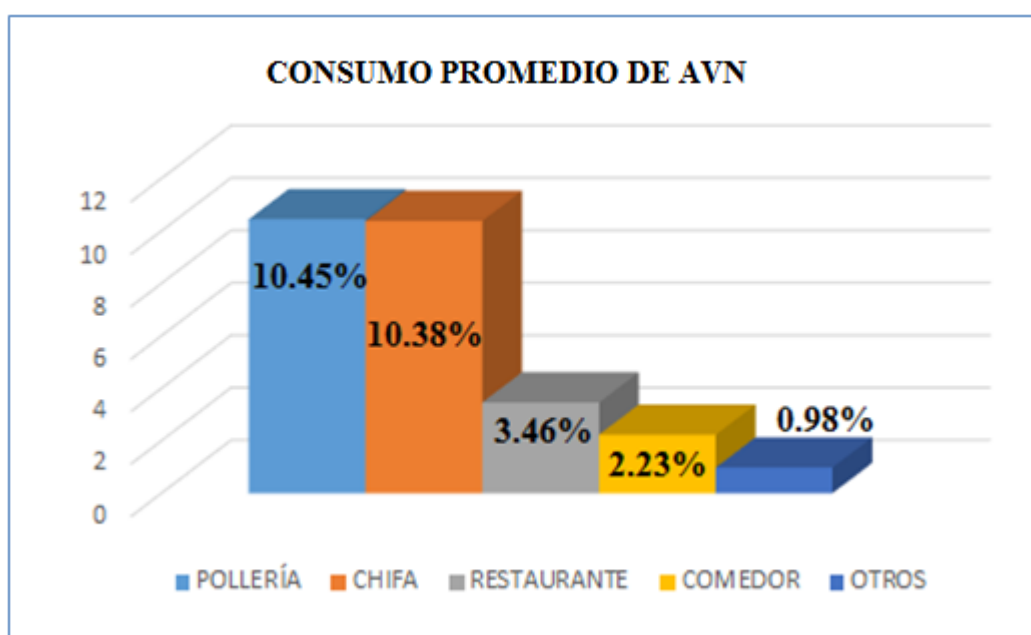
A partir del consumo de AVN, contenido en la tabla N° 2, se puede estimar la cantidad de AVU que se debería generar en cada establecimiento. Se asume que se cumplen ciertas buenas prácticas, como un buen control sobre las prácticas en cocina, y que la totalidad de los AVN es destinada a frituras.

**Tabla N° 2. Consumo Promedio de AVN por tipo de establecimiento.**

Nº	VALOR	PROMEDIO (Litros/Día)
1	POLLERÍA	10.45
2	CHIFA	10.38
3	RESTAURANTE	3.46
4	COMEDOR	2.23
5	OTROS	0.98
	<b>TOTAL</b>	<b>27.50</b>

Según la gráfica N° 2, podemos apreciar que los establecimientos con mayor demanda de AVN son las pollerías y los de menor demanda el rubro otros.

**Gráfica N° 2. Porcentaje Consumido de AVN por Establecimiento**



Se determinó la cantidad de establecimientos registrados en el distrito entre Julio del 2006 y Julio del 2016, información que aparece en la tabla N° 3. Se ha constatado que existe un alto nivel de informalidad en el negocio de la alimentación, sobre todo en lo relacionado a comedores. Basados en estos valores estimados podemos hacer una aproximación de la cantidad de Aceite Vegetal Nuevo que se consume en el distrito de Piura.

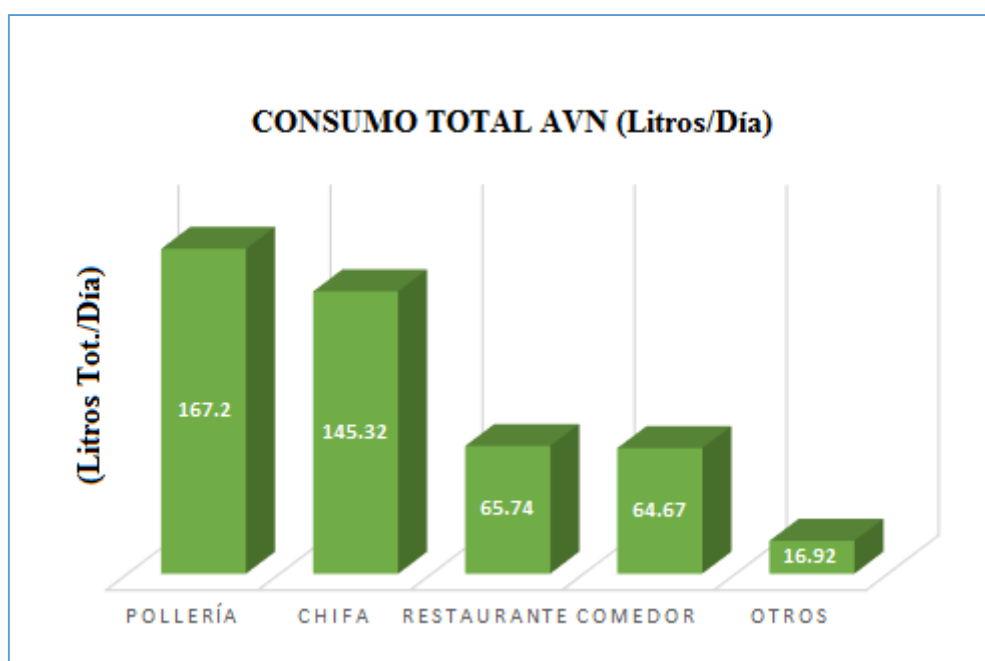
**Tabla N°3. Consumo Total de AVN por día según tipo de Establecimiento.**

TIPO DE ESTABLECIMIENTO	N° DE ESTABLECIMIENTOS	CONSUMO UNITARIO POR ESTABLECIMIENTO (Litros/Día)	CONSUMO TOTAL (Litros/Día)
POLLERÍA	16	10.45	167.20
CHIFA	14	10.38	145.32
RESTAURANTE	19	3.46	65.74
COMEDOR	29	2.23	64.67
OTROS	12	1.41	16.92
<b>TOTAL</b>	<b>90</b>	<b>---</b>	<b>459.85</b>

Para esto se ha considerado únicamente a los establecimientos que podrían ser proveedores potenciales del sistema a implantar, según la clasificación anterior vista en la tabla N°1.

A continuación en la gráfica N° 3, representamos en (Litros/Día) el consumo de aceite vegetal nuevo por tipo de establecimiento.

**Gráfica N° 3. Consumo Total (Litros/Día) de AVN por tipo de Establecimiento**





### Número de reuso de los aceites vegetales nuevos

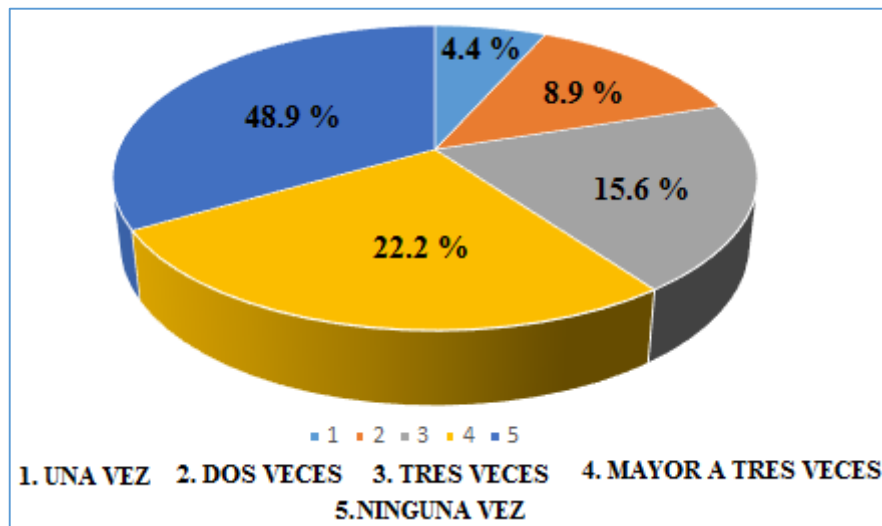
La cantidad de veces que se reutiliza el aceite vegetal nuevo, influye en la cantidad obtenido de aceite vegetal usado, dado que al usar y reutilizar el aceite se consume una mayor cantidad de este, comparada con la que se consumiría al ser utilizado una sola vez. En la tabla y gráfica N° 4, se observa que existe un alto porcentaje (48.9%) que solo reutilizan el aceite vegetal una sola vez, mientras que utilizan más de tres veces un 22.2%, estando en un porcentaje mucho menor en el rubro Otros con un 4.4%.

**Tabla N°4. Cantidad de veces de REUSO del AVN en los diferentes establecimientos de comida.**

N°	NÚMERO DE VECES	FRECUENCIA	PORCENTAJE (%)
1	1 Vez	44	48.9
2	2 Veces	14	15.6
3	3 Veces	8	8.9
4	Más de 3 veces	20	22.2
5	Otros (*)	4	4.4
	TOTAL	90	100

(\*) Otros: No utilizan o consumen el 100% en su primer uso.

**Gráfica N° 4. Porcentaje de veces de Reuso del AVN en los diferentes tipos de establecimientos**



En cuanto al reuso de los aceites, según la gráfica N° 4, podemos apreciar que existe un adecuado conocimiento por parte de la población pues la mayoría los utiliza una sola vez, lo que es aproximadamente casi la mitad. Asimismo podemos plantear que con una adecuada educación, la población podría aprender a hacer un buen uso de los aceites de cocina para reaprovecharlos de la mejor manera posible.

#### **Marcas de Aceites Vegetales Nuevos (AVN) usados**

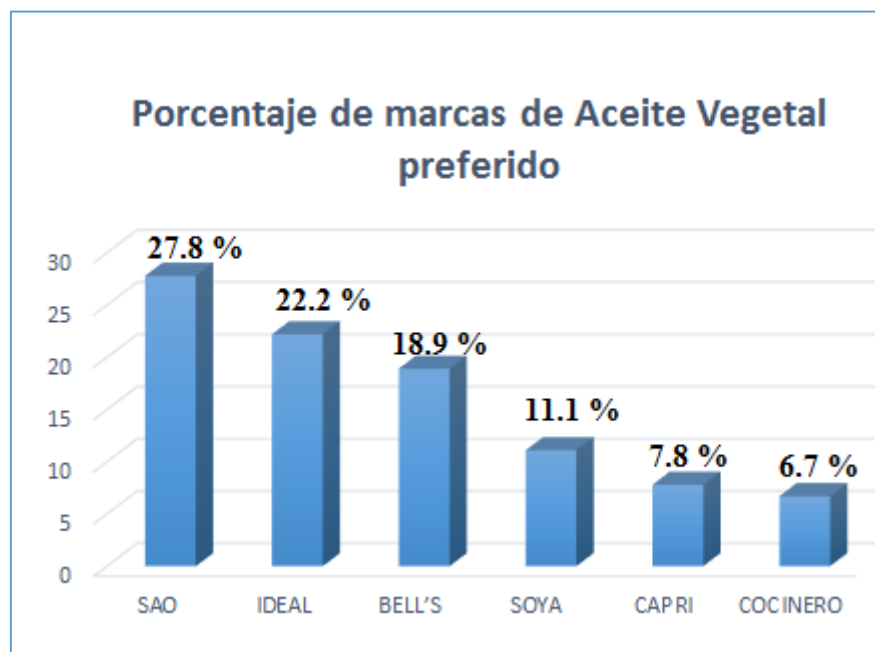
Se sabe que en el mercado hay una diversidad de marcas de aceites vegetales para uso en comidas, desde precios cómodos a otros más caros. A continuación describiremos el porcentaje del tipo de marca de los aceites vegetales más usados por los diferentes establecimientos de comida, todo esto obtenido del procesamiento de datos de la encuesta realizada según formato descrito en el cuadro N° 8.

**Tabla N° 5. Marcas de Aceites Vegetales Preferidos por los diferentes tipos de establecimientos**

Marca de aceite vegetal	Precio Promedio (S/.)	Porcentaje de uso (%)	Número de establecimientos que usan diferentes tipos de AVN
<b>SAO</b>	<b>5.50</b>	<b>27.8</b>	<b>25</b>
<b>IDEAL</b>	<b>5.60</b>	<b>22.2</b>	<b>20</b>
<b>BELL'S</b>	<b>4.29</b>	<b>18.9</b>	<b>17</b>
<b>SOYA</b>	<b>3.89</b>	<b>11.1</b>	<b>10</b>
<b>CAPRI</b>	<b>8.40</b>	<b>7.8</b>	<b>7</b>
<b>COCINERO</b>	<b>8.40</b>	<b>6.7</b>	<b>6</b>
<b>PRIMOR</b>	<b>8.85</b>	<b>5.5</b>	<b>5</b>
		<b>100 %</b>	<b>90</b>

En la tabla N° 5, podemos observar que el aceite SAO ocupa el primer lugar de las preferencias por los establecimientos, esto tal vez por su precio cómodo en el mercado; mientras que el último lugar lo ocupa el aceite vegetal PRIMOR, ya que su precio es el más elevado del grupo.

**Gráfica N° 5. Porcentaje de Marcas de Aceites Vegetales preferidos por los establecimientos**



#### **Cantidad de AVN que se absorbe y cantidad de AVU generado**

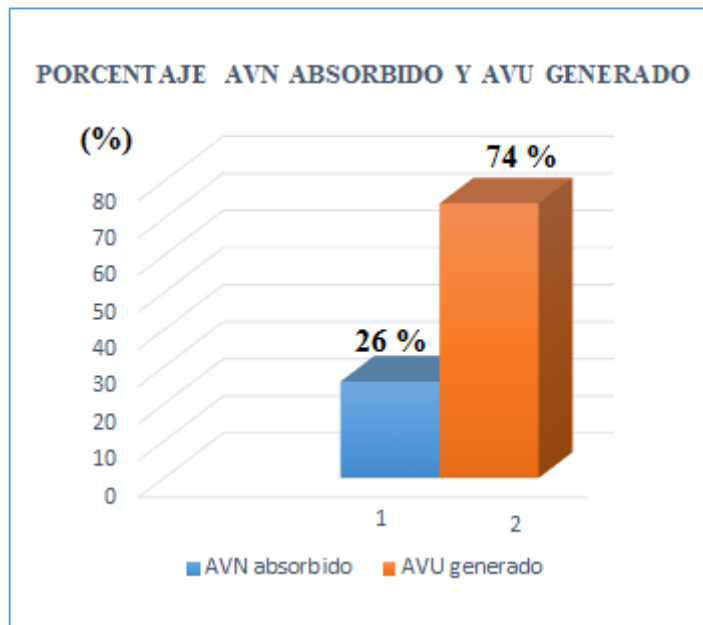
Como se sabe todo tipo de aceite vegetal nuevo en el momento de utilizarlo una parte se absorbe y la otra parte se desecha, la que genera el AVU. A continuación describiremos que porcentaje se absorbe y que porcentaje genera el AVU, esto después de procesar los datos de la encuesta formulada a los diferentes establecimientos de venta de comidas.

**Tabla N° 6. Cantidad de AVN que se absorbe y cantidad de AVU generado (Litros/Día)**

Establecimientos	Cantidad AVN usado (Litros/Día)	Cantidad AVN absorbido (Litros/Día)	Cantidad AVU generado (Litros/Día)
<b>Pollería</b>	<b>10.45</b>	2.51	7.94
<b>Chifa</b>	<b>10.38</b>	2.60	7.78
<b>Restaurante</b>	<b>3.46</b>	0.90	2.56
<b>Comedor</b>	<b>2.23</b>	0.60	1.63
<b>Otros</b>	<b>0.98</b>	0.27	0.71
	<b>27.50</b>	<b>6.88</b>	<b>20.62</b>
<b>PORCENTAJES</b>	<b>100 %</b>	<b>26%</b>	<b>74%</b>

De la tabla N°6, podemos deducir que de la totalidad de aceite vegetal nuevo usado un 26% se absorbe en las comidas y un 74% se desecha para generar el AVU total diario.

**Gráfica N° 6. Porcentaje Promedio de Aceites Vegetales absorbido y AVU generado en los diferentes establecimientos de comida.**



### 3.2.2 Variaciones en la generación de AVU

La generación de AVU se ve afectada también por el tipo de implementos de cocina a usar, siendo estos los siguientes:

- **Freidora:** electrodoméstico creado para sustituir, por medios eléctricos, a la estufa como, por ejemplo, para freír papas, pollo u otro alimento que se pueda preparar por medio de aceite comestible.
- **Sartén:** utensilio de cocina, usado para freír, generalmente en aceite o mantequilla. Consiste en un recipiente metálico de bordes bajos y abiertos y una manija generalmente plástica para sujetarlo. Actualmente viene recubierto de teflón antiadherente, que facilita la cocción o fritura de los alimentos y evitar que se peguen los alimentos a la sartén.
- **Perol:** cacerola de metal de fondo plano con dos asas, apropiada para preparar alimentos en grandes cantidades.

En la tabla N° 7, vemos el tipo de utensilio utilizado por los diferentes establecimientos.

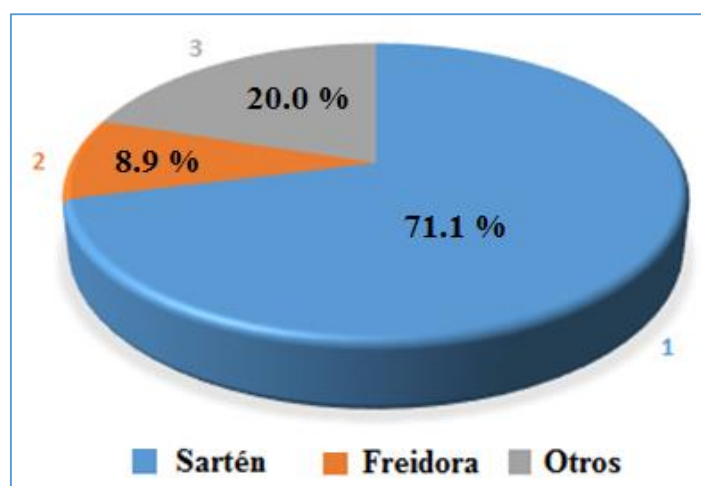
**Tabla N°7. Tipo de utensilio de cocina utilizada en frituras**

N°	VALOR	FRECUENCIA	PORCENTAJE (%)
1	SARTÉN	64	71.1
2	FREIDORA	8	8.9
3	OTROS (*)	18	20.0
	<b>TOTAL</b>	<b>90</b>	<b>100</b>

(\*) Otros: Utilizan más de un utensilio para frituras. Sartén, Perol y/o Cacerola

Podemos apreciar en la gráfica N° 5, que la mayoría de establecimientos de comida utilizan sartén para frituras. Por lo tanto podemos indicar que los residuos de aceites se van a ver afectados, dado que en una sartén no se puede controlar la temperatura de fritura. Debido a que los aceites adquieren altas temperaturas rápidamente y en algunos casos hasta pueden llegar a quemarse, el control de frituras preparados con sartenes es inestable. Es por ello que se podría sugerir el uso de sartenes revestidas con teflón para obtener un mejor control de este proceso.

**Gráfica N° 7. Porcentaje del tipo de utensilio utilizado en fritura**



#### **Cantidad de AVU estimado**

A partir de la cantidad de AVN podemos estimar la cantidad de AVU generado en el distrito.

Esta estimación se hace basada en el supuesto de que el uso que se le da a los aceites está guiado por los siguientes criterios:

- La temperatura de fritura es de 180 °C, temperatura ideal de fritura.
- Se utilizan implementos de cocina para fritura que permita llevar un control de la temperatura.
- Todo el aceite vegetal está destinado a frituras.
- En cada establecimiento se prepara un único tipo de comidas con los aceites, principalmente papas.
- Los AVN sólo se utilizan una vez.

Basados en estos supuestos y en los datos recopilados por la encuesta, tales como el porcentaje de absorción de los aceites vegetales nuevos, se puede calcular el porcentaje de AVU. Estos resultados lo podemos apreciar en la tabla N° 8:

**Tabla N°8. Producción estimada (Litros/Día) de AVU**

VALOR	AVN	ABSORCIÓN	AVU
<b>Porcentaje (*)</b>	100%	26%	74%
Pollería	<b>167.20</b>	<b>43.47</b>	<b>123.73</b>
Chifa	<b>145.32</b>	<b>37.78</b>	<b>107.54</b>
Restaurante	<b>65.74</b>	<b>17.09</b>	<b>48.65</b>
Comedor	<b>64.67</b>	<b>16.81</b>	<b>47.86</b>
Otros	<b>16.92</b>	<b>4.40</b>	<b>12.52</b>
<b>Total</b>	<b>459.71</b>	<b>119.52</b>	<b>340.30</b>

(\*) Estos porcentajes son deducidos de la tabla N° 6, después de procesar los datos obtenidos en las encuestas.

La tabla N° 8, indica que la cantidad de AVU que se debería generar en el distrito de Piura es de **340.30** Litros por día aproximadamente, esto recolectado en los 90 establecimientos del distrito de PIURA.

### **Cantidad de AVU real**

En la realidad la cantidad de AVU generado es menor. Esto se debe a que en los establecimientos de comida, sobre todo en chifas, restaurantes y comedores, la cantidad de frituras preparadas varía en función de la demanda de los clientes. Sin embargo en las pollerías sí se cumple esta regla, si respetan las demás restricciones. Esto se debe a que la mayoría de estos establecimientos emplean freidoras para la preparación de papas fritas.

### **3.2.3 Reducción de la fuente**

Para conseguir una reducción en la fuente generadora de AVU, prevaleciendo en este punto la preservación del medio ambiente, se puede realizar algunas acciones como la reutilización de los aceites, buenas prácticas en cocina y la adecuada concientización de la población.

#### **El buen uso de AVN permite la reutilización**

El reutilizar los AVN es una buena práctica medioambiental, pero para ello se deben respetar algunas normas en el proceso de fritura:

- La temperatura de fritura debe ser de 180 °C, temperatura ideal. Se debe tener en cuenta que la temperatura crítica de los aceites es de 190°C, no debe excederse esa temperatura. Para ello se debe llevar un control mediante un termómetro o un termostato.
- Se debe utilizar implementos de cocina, en fritura, que permita llevar un control de la temperatura. Se recomienda usar freidora o en su defecto sartén revestido con teflón.
- Los aceites se pueden usar 3 ó 4 veces como máximo, teniendo en cuenta también el tipo de alimentos freídos. Reutilizar aceites puede influir en el resultado final de los alimentos, cambiando el sabor, la textura y hasta la apariencia de los mismos.
- Los criterios a tener en cuenta, para determinar hasta qué punto se puede reutilizar un aceite usado son: su viscosidad, nivel de rancidez, olor, sabor, color y textura.

### **3.2.4 Fases del Manejo de Aceite Vegetal Usado.**

#### **Generación**

Fase en la que luego del proceso de fritura, el aceite comestible se convierte en aceite usado.



### **Almacenamiento**

Fase en la que el aceite usado se deposita y almacena en baldes de plástico con tapa y rotulados con “ACEITE VEGETAL USADO”.

Recomendaciones:

- ✓ Ubicar el balde en la zona de frituras pero no muy cerca al fuego.
- ✓ De preferencia esperar que el aceite usado enfríe para depositarlo en el balde.
- ✓ Mantener los baldes con tapa y la zona de almacenamiento limpia para evitar derrames, malos olores y accidentes.

Para esta fase se utilizarán recipientes especiales con malla separadora de parte sólida y líquida. Los recipientes que emplearemos para el recojo de los residuos serán:

- Baldes de 10 litros, debidamente acondicionados (Figura N° 20).
- Cilindros de 250 litros (Figura N° 20).
- Depósitos especiales (Enviados a fabricar según especificaciones).

Los recipientes se cambian según la demanda de los establecimientos y se depositan en el centro de acopio.

**Figura N° 20. Recipientes de 250 y 10 Litros para el recojo de AVU**



### **Recolección y Transporte**

Fase en la que el aceite usado es recolectado y transportado en forma periódica por una empresa autorizada por medio de un vehículo acondicionado para este servicio.

Los operarios recolectores, luego de identificarse, contarán los baldes con aceite usado y procederán a cambiarlos con baldes vacíos.

Los baldes llenos serán subidos al vehículo para su transporte a la planta de reciclaje, con las medidas de seguridad necesarias.

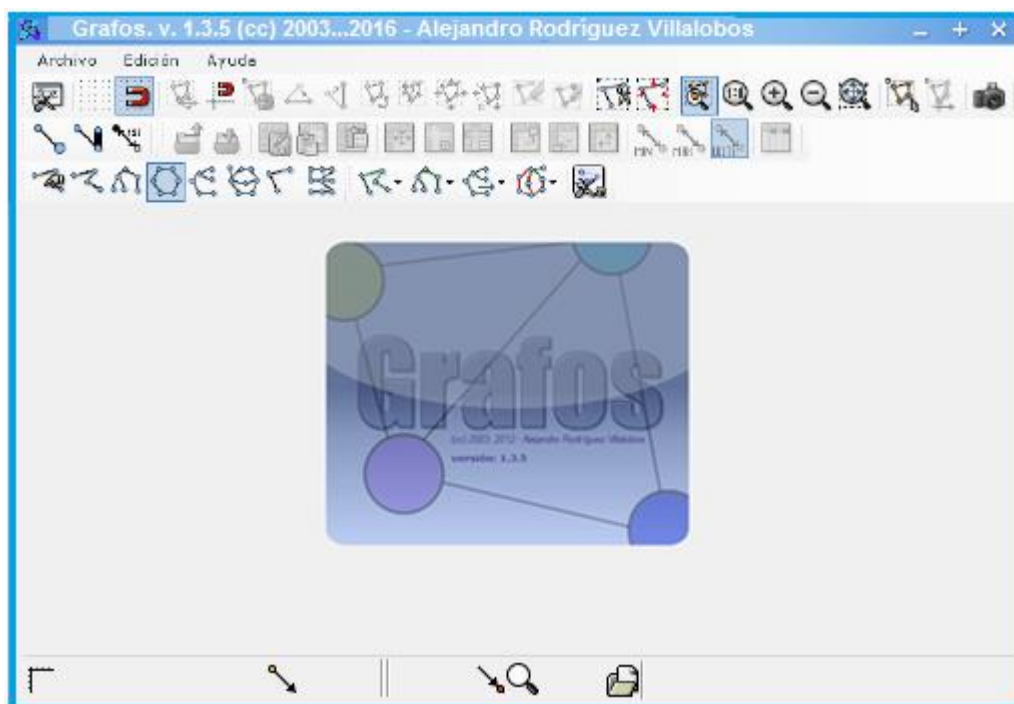
Para llevar a cabo la recolección se deben tener en cuenta ciertos puntos que garantizarán un buen servicio, y asegurarán la materia prima necesaria para poder conseguir resultados beneficiosos. Estos puntos a considerar son:

- Personal a cargo de la recolección: debe ser adiestrado en cuanto a la buena gestión de los residuos.
- Circuito de recolección: definirlo identificando los puntos de aprovisionamiento potenciales.
- Solicitud de los establecimientos: para ser parte del programa de recolección ya sea de manera voluntaria o mediante una invitación.
- Certificación de la buena gestión de los AVU como protección ambiental, favoreciendo la inspección sanitaria en establecimientos.
- Acondicionamiento del centro de acopio: guardando cuidado en que la zona de trabajo quede libre de luz solar, aire y humedad.
- Mantenimiento de una base de datos: para llevar un registro de los establecimientos que generan AVU y de todo el sistema en general.

### **Proceso de recolección**

Para el diseño del proceso de recolección de aceites usados, se hizo uso del método heurístico para el **Algoritmo de Bellman-Ford**. Su aplicación es muy conocida, por lo que apoyándonos en un software para la resolución de éste tipo de heurísticos, se hizo el análisis correspondiente.

El nombre del software es Grafos, y la capacitación para su correcto uso fue obtenido en un curso taller de Investigación de Operaciones I. El software tiene la siguiente interfaz.



Fuente: (Alejandro Rodríguez Villalobos, 2016. Dpto. de Organización de Empresas. Escuela Politécnica Superior de Alcoy. Universidad Politécnica de Valencia. Pza. Ferrándiz-Carbonell, 03801.)

El software Grafos permite un análisis exhaustivo de todas las posibles rutas existentes. Para ello solo se ingresa cada uno de los puntos de recolección al programa y determinar las distancias de los arcos de conexión entre puntos. Mientras que la determinación de los puntos de recolección y las distancias se realizó en AutoCAD debido a que trabaja con coordenadas reales. El plano de Piura fue obtenido desde internet buscando con google: Mapa satelital de Piura.

La determinación de los puntos se hizo tomando en cuenta la densidad poblacional y el nivel socioeconómico que predomina en la zona. En total se graficaron 14 puntos de recolección, considerando los principales locales comerciales y las zonas residenciales de importancia por la oferta de aceites usados de cocina que pueden aportar. Debido a que el centro de Piura está restringida al ingreso de camiones cisterna, la alternativa evaluada fue el uso de un camión cisterna pequeño, que esté autorizado a ingresar al cercado de Piura.

En el Figura N° 21, vemos la secuencia que se sigue para la adecuada recolección de los AVU, desde que se hace uso en los hogares o establecimientos, hasta que se acopia en el centro adecuado y su disposición final.

**Figura N° 21. Proceso de Recuperación del Aceite Vegetal Usado (Reciclaje AVU).**



El recojo de los AVU se realizará respetando el siguiente procedimiento:

- Se entregan recipientes de acuerdo a la capacidad para el aceite.
- Cada vez que se recoja, se preguntará cuando se desea que se vuelva.
- Si se necesitara recoger antes, se acudirá en un máximo de 48 horas.
- Las recogidas se efectuarán en los horarios que se digan.
- Se entregará una constancia en cada recogida.
- Si tiene una Inspección Sanitaria se entregará los certificados respectivos.
- Se establece un acuerdo con el fin de garantizarle el servicio.

Los planes de recogida que se establecerán son:

- Semanal
- Quincenal
- Mensual

Los documentos que se entregarán según el punto de recogida son:

- Constancia en cada recogida
- Certificado en punto de recogida
- Certificado para Sanidad
- Certificado para Municipalidad

Para analizar los AVU que pueden ser útiles para poder reaprovecharlos en biodiesel, se realizará lo siguiente:

- Filtrado de sólidos mayores de 1,5 mm.
- Decantado inicial a 55°.
- Decantado acelerado a 60°.
- Reposo.
- Almacenado.

#### 3.2.4.1 Ruta óptima de recolección de avu

Para permitir el análisis de grafos, se han implementado algoritmos y funciones, desde diferentes puntos de vista como: caminos, árboles, flujos y rutas. A continuación se muestra un listado con los posibles algoritmos o análisis implementados actualmente:

##### Caminos

- Algoritmo de Dijkstra (camino mínimo, camino máximo)
- **Algoritmo de Bellman-Ford (camino mínimo, camino máximo)**
- Algoritmo de Floyd-Warshall (camino mínimo entre todos los pares de nodos)

##### Árboles

- Algoritmo de Dijkstra (árbol mínimo/máximo)
- Algoritmo de Kruskal (árbol de coste total mínimo/máximo)
- Algoritmo de Prim (árbol de coste total mínimo/máximo)

##### Flujos

- Algoritmo de Ford-Fulkerson (flujo máximo)
- Problema del Transbordo-Transporte (coste mínimo)
- Problema de Asignación (coste mínimo)


##### Rutas

- Problema del Viajante de Comercio (distancia total mínima)
- Problema de los m-Viajantes de Comercio (distancia total mínima)
- Algoritmo de Rutas (paso por nodos seleccionados a coste mínimo)
- Problema de los m-Rutas (distancia total mínima)
- Problema Rutas con Vehículos Capacitados (CVRP)

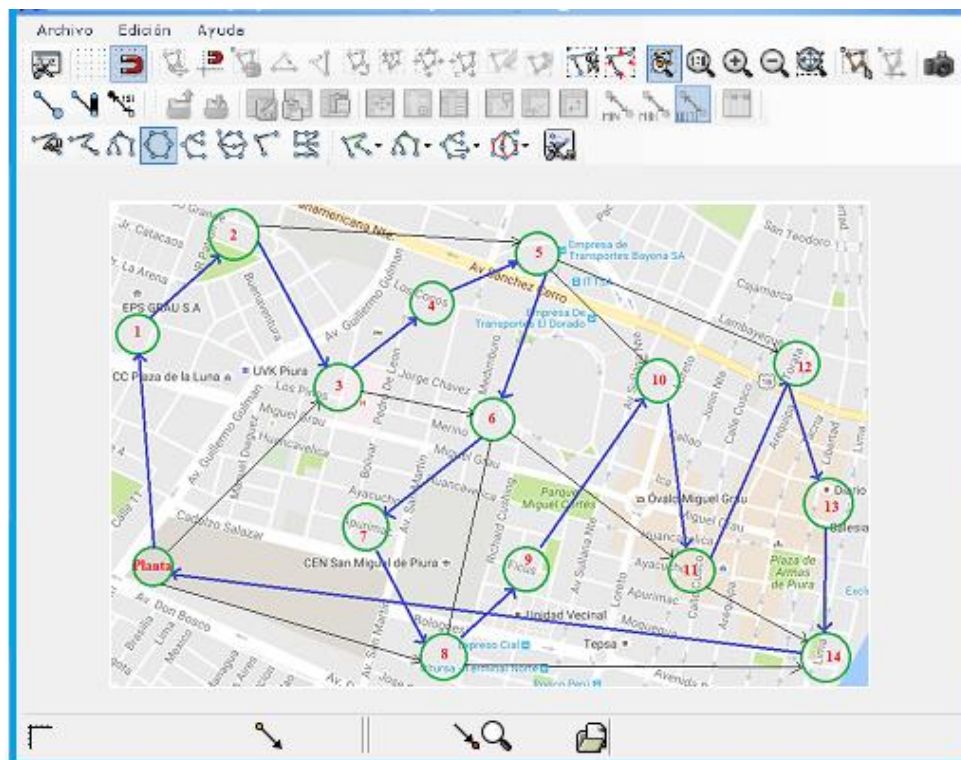
El modelo utilizado para la ruta óptima del recojo de aceites de cocina usados, está basado en el algoritmo de **BELLMAN-FORD** (camino mínimo, camino máximo),

obteniendo como resultado el recorrido mostrados en las figuras N°22 y N°23, en color VERDE, el cual ha sido elaborado estratégicamente teniendo en cuenta, los arcos calculados desde el nodo de origen (acopio) hasta el nodo destino (planta de tratamiento) y la ubicación de los principales generadores de este residuo, siendo estos los establecimientos de comida ya mencionados.

### Leyenda:

- Ruta Óptima. 
- La planta de acopio se encuentra en la intersección: Av. G. Gulman con Av. Don Bosco.
- El recorrido óptimo es de 28.07 Km
- Recorrido óptimo es como sigue: **Planta Tratamiento**.-----> EPS Grau-----> Jr. Patron-----> Los Pinos-----> Los Cocos----> Trans. Bayona -----> Merino ----> Apurímac ----->Trans. Oltursa -----> Ficus -----> Loreto -----> Cusco -----> Torata -----> Correo -----> Lima -----> **Planta Tratamiento**.

A continuación se muestra el la utilización del programa GRAFOS para tener el recorrido mas óptimo entre el punto de inicio y el punto final.



**Tabla de distancias en km de la red mostrada anteriormente**

Origen/ Destino	Planta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Planta		2													
1			0.8												
2				1.5											
3					1.4										
4						0.75									
5							1.85								
6								1.57							
7									1.2						
8										1.6					
9											2.1				
10												1.8			
11													2.6		
12														1.7	
13															1.2
14	6														

De dicho análisis se concluye que la ruta óptima requiere de 28.07 Km.

### Modelo utilizado agente viajero

El objetivo principal de utilizar este modelo es encontrar un recorrido completo que conecte todos los establecimientos y minimice la distancia total de la ruta.

$$\begin{aligned}
 mind = & 2x_{1(2)} + 1.8x_{1(3)} + 1.3x_{1(4)} + 2x_{1(8)} + 2x_{1(9)} + 6 + \\
 & 2x_{2(1)} + 0.8x_{2(3)} + 0.95x_{2(4)} + 1.4x_{2(5)} + 2.1x_{2(8)} + \\
 & 1.8x_{2(1)} + 0.8x_{3(2)} + 1.5x_{3(4)} + 1.3x_{3(5)} + 1.4x_{3(6)} + \\
 & 1.3x_{3(1)} + 0.95x_{4(2)} + 1.5x_{4(3)} + 1.4x_{4(5)} + 2.3x_{4(7)} + 1.4x_{4(8)} + \\
 & 1.4x_{5(2)} + 1.3x_{5(3)} + 1.4x_{5(4)} + 0.75x_{5(6)} + 0.35x_{5(7)} + 1.4x_{5(11)} + \\
 & 1.4x_{6(3)} + 0.75x_{6(5)} + 1.85x_{6(7)} + 2.3x_{6(11)} + 2.6x_{6(13)} + \\
 & 2.3x_{7(4)} + 0.35x_{7(5)} + 1.85x_{7(6)} + 1.57x_{7(8)} + 0.95x_{7(9)} + 3.7x_{7(10)} + 1.1x_{7(11)} + 0.65x_{7(12)} \\
 & 2x_{8(1)} + 2.1x_{8(2)} + 1.4x_{8(4)} + 1.57x_{8(7)} + 1.2x_{8(9)} + 1.4x_{8(10)} + \\
 & 2x_{9(1)} + 0.95x_{9(7)} + 1.2x_{9(8)} + 1.6x_{9(10)} + 1.4x_{9(12)} + 1.1x_{9(15)} + \\
 & 3.7x_{10(7)} + 1.4x_{10(8)} + 1.6x_{10(9)} + 2.10x_{10(11)} + 2.3x_{10(12)} + 0.6x_{10(15)} + \\
 & 1.4x_{11(5)} + 2.3x_{11(6)} + 1.1x_{11(7)} + 2.10x_{11(10)} + 1.8x_{11(12)} + 0.35x_{11(13)} + 0.55x_{11(14)} + \\
 & 0.65x_{12(7)} + 0.6x_{12(9)} + 2.3x_{12(10)} + 1.8x_{12(11)} + 2.6x_{12(13)} + 2.3x_{12(14)} + 0.6x_{12(15)} + \\
 & 2.6x_{13(6)} + 0.35x_{13(11)} + 2.6x_{13(12)} + 1.7x_{13(14)} + \\
 & 0.55x_{14(11)} + 2.3x_{14(12)} + 1.7x_{14(13)} + 1.2x_{14(15)} + \\
 & 6x_{15(1)} + 1.1x_{15(9)} + 0.6x_{15(10)} + 0.6x_{15(12)} + 1.2x_{15(14)} +
 \end{aligned}$$

Origen:

$$x_{1(2)} + x_{1(3)} + x_{1(4)} + x_{1(8)} + x_{1(9)} + x_{1(15)} = 1$$

$$x_{2(1)} + x_{2(3)} + x_{2(4)} + x_{2(5)} + x_{2(8)} = 1$$

$$x_{3(1)} + x_{3(2)} + x_{3(4)} + x_{3(5)} + x_{3(6)} = 1$$

$$x_{3(1)} + x_{4(2)} + x_{4(3)} + x_{4(5)} + x_{4(7)} + x_{4(8)} = 1$$

$$x_{5(2)} + x_{5(3)} + x_{5(4)} + x_{5(6)} + x_{5(7)} + x_{5(11)} = 1$$

$$x_{6(3)} + x_{6(5)} + x_{6(7)} + x_{6(11)} + x_{6(13)} = 1$$

$$x_{7(4)} + x_{7(5)} + x_{7(6)} + x_{7(8)} + x_{7(9)} + x_{7(10)} + x_{7(11)} + x_{7(12)} = 1$$

$$x_{8(1)} + x_{8(2)} + x_{8(4)} + x_{8(7)} + x_{8(9)} + x_{8(10)} = 1$$

$$x_{9(1)} + x_{9(7)} + x_{9(8)} + x_{9(10)} + x_{9(12)} + x_{9(15)} = 1$$

$$x_{10(7)} + x_{10(8)} + x_{10(9)} + x_{10(11)} + x_{10(12)} + x_{10(15)} = 1$$

$$x_{11(5)} + x_{11(6)} + x_{11(7)} + x_{11(10)} + x_{11(12)} + x_{11(13)} + x_{11(14)} = 1$$

$$x_{12(7)} + x_{12(9)} + x_{12(10)} + x_{12(11)} + x_{12(13)} + x_{12(14)} + x_{12(15)} = 1$$

$$x_{13(6)} + x_{13(11)} + x_{13(12)} + x_{13(14)} = 1$$

$$x_{14(11)} + x_{14(12)} + x_{14(13)} + x_{14(15)} = 1$$

$$x_{15(1)} + x_{15(9)} + x_{15(10)} + x_{15(12)} + x_{15(14)} = 1$$

Destinatario

$$x_{1(2)} + x_{2(1)} + x_{3(1)} + x_{4(1)} + x_{5(2)} + x_{6(3)} + x_{7(4)} + x_{8(1)} + x_{9(1)} + x_{10(7)} + x_{11(5)} + x_{12(7)} + x_{13(6)} + x_{14(11)} + x_{15(1)} = 1$$

$$x_{1(3)} + x_{2(3)} + x_{3(2)} + x_{4(2)} + x_{5(3)} + x_{6(5)} + x_{7(5)} + x_{8(2)} + x_{9(7)} + x_{10(8)} + x_{11(6)} + x_{12(9)} + x_{13(11)} + x_{14(12)} + x_{15(9)} = 1$$

$$x_{1(4)} + x_{2(4)} + x_{3(4)} + x_{4(3)} + x_{5(4)} + x_{6(7)} + x_{7(6)} + x_{8(4)} + x_{9(8)} + x_{10(9)} + x_{11(7)} + x_{12(10)} + x_{13(12)} + x_{14(13)} + x_{15(10)} = 1$$

$$x_{1(8)} + x_{2(5)} + x_{3(5)} + x_{4(5)} + x_{5(6)} + x_{6(11)} + x_{7(8)} + x_{8(7)} + x_{9(10)} + x_{10(11)} + x_{11(10)} + x_{12(11)} + x_{13(14)} + x_{14(15)} + x_{15(12)} = 1$$

$$x_{1(9)} + x_{2(8)} + x_{3(6)} + x_{4(7)} + x_{5(7)} + x_{6(13)} + x_{7(9)} + x_{8(9)} + x_{9(12)} + x_{10(12)} + x_{11(12)} + x_{12(13)} + x_{15(14)} = 1$$

$$x_{1(15)} + x_{4(8)} + x_{5(11)} + x_{7(10)} + x_{8(10)} + x_{9(15)} + x_{10(15)} + x_{11(13)} + x_{12(14)} = 1$$

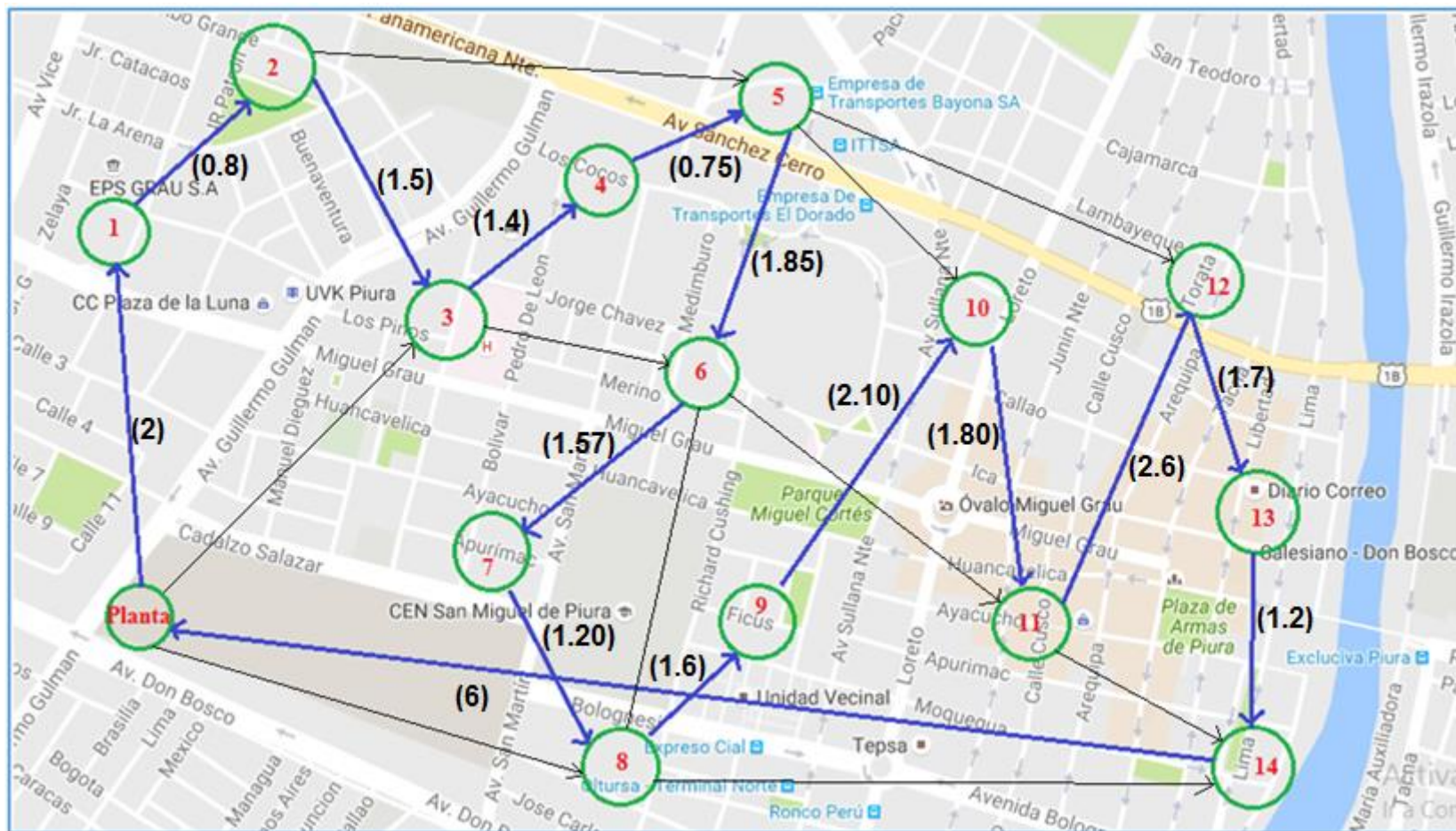
$$x_{7(12)} + x_{11(14)} + x_{12(15)} = 1$$

$$x_{7(12)} = 1$$



[illegible]

Figura N° 23. Ruta optima para el recojo de AVU en el distrito de Piura. 14 puntos estratégicos.



## Proceso de Transporte

La flota de vehículos:

- Todos los vehículos cuentan con la autorización de la Municipalidad provincial, para el transporte de sus residuos.
- Vehículos no motorizados preparados para el tema (triciclos, etc.).
- Vehículos motorizados preparados (camionetas, furgonetas, etc.).
- Recojo de AVU según cronograma.

### 3.2.5 Disposición Final de los AVU por los diferentes establecimientos de comida.

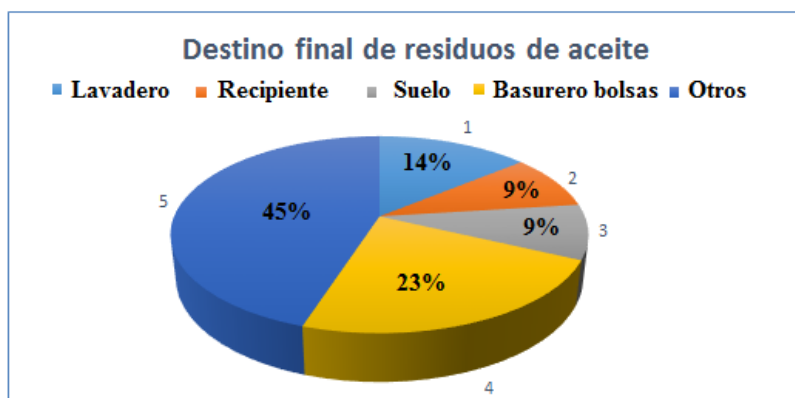
Se analizó la disposición final actual que se le da a los aceites vegetales usados, lo vemos en la tabla N° 9, obteniendo como resultados los siguientes:

**Tabla N°9. Disposición final de los AVU por los establecimientos de comida.**

N°	DESTINO	FRECUENCIA	PORCENTAJE (%)
1	Lavadero (alcantarilla)	13	14
2	Recipiente (Balde)	8	9
3	Suelo	8	9
4	Basurero (contenido en bolsas)	21	23
5	Otros	40	45
	<b>TOTAL</b>	<b>90</b>	<b>100</b>

En la gráfica N° 8, se puede apreciar que el mayor porcentaje de los establecimientos no indica la disposición final que le da a los AVU, y de entre las formas conocidas se establece el disponer de los AVU en los basureros, cuyo contenido termina luego contaminado suelo y agua.

**Gráfica N° 8. Destino final de los AVU**



Luego de llevar los AVU a los centros de acopio se le da tratamiento para reaprovecharlo en biodiesel y glicéridos.

### **3.2.6 RECURSOS HUMANOS PARA LA GESTIÓN DEL AVU.**

El equipo encargado de todo el sistema de gestión, está conformado por diversos grupos de personas, cuyas funciones se encuentran vinculadas al desarrollo del sistema propuesto. Estos grupos y sus funciones son:

#### **Área de comercialización de la Municipalidad:**

Son los encargados de la supervisión del tema, basándose en alguna de sus funciones, tales como:

- Normar y controlar el saneamiento ambiental; difundiendo programas de educación ambiental así como el aseo, higiene y salubridad en todo tipo de establecimientos y lugares públicos.
- Dictar medidas de control de ruidos, transportes y de tránsito.
- Garantizar el servicio de limpieza pública, ubicar las áreas de acumulación de basura y regular el aprovechamiento industrial de desperdicios.
- Controlar la sanidad animal.

#### **Inspectores Municipales:**

Son los encargados de velar el adecuado funcionamiento de los locales, haciendo respetar las normas establecidas en el ámbito de la municipalidad.



### **Recolectores:**

Son las personas encargadas del recojo de los aceites vegetales usados, quienes lo depositarán en los centros de acopio establecidos.

Se caracterizan por ser:

- Personal apropiado
- Siempre uniformados

### **Evaluadores:**

Serán los encargados de analizar los aceites vegetales usados, midiendo los niveles requeridos mínimos para poder procesarlos en biodiesel.

### **Operarios:**

Serán los encargados de llevar a cabo el proceso de transformación de aceites vegetales usados a biodiesel, siguiendo el procedimiento adecuado, previa capacitación.

### **Vigilantes:**

Serán los encargados de velar por la integridad de los materiales correspondientes al funcionamiento adecuado de proceso, delimitados en la zona asignada para dicho propósito.

### **Grupo Informativo:**

Se brindará toda la información con respecto al tema, según la soliciten los interesados:

- Resumen detallado de recogidas
- Resumen por fechas
- Consulta inmediata por teléfono
- Analítica de los residuos
- Detalle de la trazabilidad

### **3.2.7 Aplicación de las tres R (Reduce, Reusa y Recicla).**

Se trata de un conjunto de acciones que tienen como objetivo reducir la cantidad y toxicidad de los aceites vegetales usados que producimos diariamente:

- **Reduce** la mayor cantidad de residuos posibles.
- **Reusa** todo lo que se es posible antes de desecharlo.
- **Recicla** los residuos para elaborar nuevos productos.

## **Reduce**

Ésta es la más importante de las 3R porque evita la generación excesiva de residuos.

Mencionamos algunas recomendaciones:

- Planificar y comprar sólo lo necesario.
- Escoger y comprar productos de mayor calidad.

Controlar el uso del aceite, cuidando que no exceda los valores críticos de usabilidad.  
(Temperatura 180°C, baja densidad, color claro)

## **Reusa**

Lo que para unos es basura, para otros es un recurso. Los aceites vegetales usados pueden ser reutilizados para su función original o para otros usos.

Mencionamos algunas recomendaciones:

- Mantener y controlar el aceite que aún se puede utilizar.
- Buscar en forma creativa, darle otro uso a los envases y materiales que contienen los aceites que ya no se utilizan.
- Aprovechar los residuos de aceite, para hacer jabones o biodiesel.

## **Recicla**

Consiste en el aprovechamiento de los residuos para fabricar nuevos productos y, al igual que la reducción y el reuso, debe iniciarse desde el lugar de generación.

Cuando se refiere al procesamiento de materia orgánica en dirección a la biometanización o compostaje recibe el nombre de reciclaje orgánico. El tratamiento se basa en la operación o conjunto de operaciones que cambian las características físicas, químicas o biológicas de un residuo para reducir o neutralizar las sustancias peligrosas que pueden contener, recuperando sustancias valorizables facilitando su uso y favoreciendo su disposición.

Mencionamos algunas recomendaciones:

- Separar los aceites vegetales usados que se generan en dos grupos: los reciclables y los no reciclables, según su nivel de acidez.
- Promover la recolección selectiva de aceites vegetales usados en todo lugar.

- Elaborar compost (abono orgánico) aprovechando los residuos sólidos de comidas, etc.

### 3.2.8 Producción estimada de biodiesel

Se estima una oferta diaria de AVU de **340.30** Litros. Esta cantidad ofertada se traduce a **297.06** Litros de biodiesel producido, ver la tabla N°10; para lo cual se realiza el proceso por etapas en forma continua, según la figura 15.

**Tabla N°10. Producción Estimada de Biodiesel por día.**

VALOR	AVU (Litros/Día)	BIODIÉSEL (Litros/Día)
PORCENTAJE	100 %	87.3% (*)
POLLERÍA	123.73	108.0
CHIFA	107.54	93.88
RESTAURANTE	48.65	42.47
COMEDOR	47.86	41.78
OTROS	12.52	10.93
<b>TOTAL</b>	<b>340.30</b>	<b>297.06</b>

(\*) Este porcentaje es según dato del proceso experimental establecido en la Tesis: “Estudio Técnico Económico para la Instalación de una Planta Industrial de Biodiesel a Partir del Aceite Comestible Usado”. Autores: Juan Morales Curo, Franklin U. Morán Paredes. Fac. Ing. Química, UNP, 2006.

Según los datos obtenidos por la encuesta, la generación diaria de AVU en el distrito de Piura es de **340.30** Litros, por lo que es necesario un reactor con capacidad de 400 litros.

### 3.2.9 Marco Legal

El sistema de gestión de Aceites Vegetales Usados se realizará de acuerdo a las directivas de:

- Ley General de Salud N° 26842
- Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos “Ley N° 27314”
- Ley 28551 – Ley que establece la Obligación de Elaborar y Presentar Planes de Contingencia.
- Ordenanzas municipales que apoyen la ejecución del sistema propuesto.

### 3.2.10 Características fisicoquímicas de una muestra de AVU de la marca de aceite vegetal SAO.

De acuerdo a la tabla 5, la marca de aceite vegetal SAO tiene un 27.8% de preferencia entre los establecimientos de comida, por lo que se procedió a realizar los análisis fisicoquímico para esta marca de aceite, antes y después de su uso, y poder así ver la degradación que sufre después de las frituras. Estos análisis se hicieron en los laboratorios de la Universidad Nacional de Ingeniería, como se muestra en los anexos respectivos. A continuación se muestra los resultados.

Parámetros	Aceite SAO (nuevo)	Aceite SAO (usado)
Color	Característico	Oscuro
Olor	Exento	Rancio
Partículas extrañas	No lleva	Si lleva
Humedad (%)	0.645	0.10
Densidad relativa (gr/mL) 20°C	0.9155	0.9160
Índice de refracción ( $n^{25}_D$ )	1.4669	1.4670
Acidez libre (% ácido oleico)	0.18	2.47
Índice de saponificación (mgKOH/gr.aceite)	199.50	199.70
Índice de Yodo (gr.I/100gr.aceite)	112.10	110.06
Índice de peróxidos (meq.O <sub>2</sub> /Kg. Aceite)	4.5	10.4483
Hierro (Fe) (ppm)	<1.5	3.56
Cobre (Cu) (ppm)	<0.1	0.42
Plomo (Pb) (ppm)	<0.1	<0.1
Arsénico (As) (ppm)	<0.1	<0.1
Níquel (Ni) (ppm)	<1.0	<1.0

Fuente: Lab. UNI-FC

Realizando la comparación de los datos obtenidos para el aceite residual y los datos reportados por el laboratorio para el aceite usado, se puede decir que la humedad del aceite ha aumentado debido al deterioro por el número de frituras, su oxidación y el tiempo de almacenamiento. Este alto contenido de agua puede generar problemas en la reacción de transesterificación como la catálisis de la reacción de saponificación y la hidrólisis de los metil-esteres obtenidos.



Respecto a la acidez libre el aceite vegetal usado, tiene un valor más alto con respecto al aceite. Se puede decir que el aceite sufrió degradación por el número de frituras y el tiempo de almacenamiento. Además este valor de acidez indica una alta presencia de ácidos grasos libres que favorecen la formación de jabón dificultando la separación del biodiesel.

Respecto al índice de saponificación, índice de refracción y densidad relativa, el aceite usado no sufre mayores cambios.

De acuerdo con los resultados el índice de yodo del aceite residual fue menor que del aceite nuevo, ya que debido al tiempo de almacenamiento y frituras, los dobles enlaces de las cadenas de los ácidos grasos del aceite se ven afectados por el oxígeno del aire ya que este los ataca, oxidándolos con formación de peróxidos.

El índice de peróxidos es alto comparado con el valor para el aceite puro, ya que el índice de peróxidos de los aceites puros debe estar entre cero y cinco, este valor obtenido se debe a los procesos a que el aceite fue sometido y al tiempo de almacenamiento del mismo, cabe decir que este valor esta entre los valores normales del índice de peróxidos de un aceite residual menores a 20 meq.  $O_2$  / kg de aceite. Los valores de acidez y este valor de índice de peróxidos si bien son valores dentro de los rangos aceptables para un aceite residual, no quieren decir esto, que no afecten la estabilidad del biodiesel obtenido a partir de esta materia prima.

Con respecto a los metales pesados Hierro y Cobre, los valores reportados son altos, esto demuestra también la degradación y contaminación propia del aceite usado. Con respecto al Plomo, Arsénico y Níquel, no presentan diferencias con relación al aceite nuevo.

## **CAPÍTULO IV**

### **4. INDUSTRIALIZACIÓN DEL ACEITE VEGETAL USADO**

#### **4.1 PRODUCCIÓN DE BIODIESEL**

Los aceites vegetales usados (AVU), mayormente residuos de frituras, resultan como materia prima para producir biodiesel, glicerol y jabón líquido. El uso de tecnología de bajo costo resulta no solo beneficioso para la salud ambiental, sino que procura mejorar la rentabilidad de las pequeñas producciones familiares disminuyendo el gasto en combustibles.

##### **4.1.1 Planta piloto para la utilización de Aceites Vegetales Usados.**

El aceite luego de usado resulta en un residuo que aunque biodegradable, presenta dificultades para su disposición final, generalmente termina en el suelo y el agua a través de las redes de alcantarillas. Cuando es vertido al sistema alcantarilla los aceites se adhieren a las paredes de las cañerías contribuyendo a la disminución de sus diámetros con la consecuente pérdida de rendimiento del sistema. Con la finalidad de contribuir a disminuir ese impacto, se propone la puesta a prueba de una tecnología de bajo coste para reciclar el aceite vegetal usado, cuyos nuevos productos serán biodiesel, glicerol y jabón líquido.

##### **4.1.2 Construcción de la Planta Experimental**

El Ministerio de Energía y Minas exige con carácter obligatorio las normas técnicas en el proceso de diseño de la planta de procesamiento del biocombustible. Cabe destacar que un detalle mayor de la normativa puede ser encontrado en la página web. Para efectos del proyecto hemos resumido dichos aspectos, colocando lo más importante de cada uno.

- Las plantas de procesamiento de hidrocarburos deberán ser diseñadas y construidas según normas nacionales. Si no se cuenta con estas normas deberán ser diseñadas con los códigos y estándares internacionales reconocidos en la industria y procesamiento de hidrocarburos, principalmente aspectos relacionados con la seguridad del personal e instalaciones, control de la contaminación ambiental y conservación de energía.
- Se deben incluir criterios que permitan la conservación y uso eficiente de la energía en el diseño de la planta de procesamiento de hidrocarburos.

- El diseño y construcción de las plantas de procesamiento de hidrocarburos deberán considerar que el nivel de ruido combinado de las instalaciones no sobrepase siguientes requerimientos: a) Respetar niveles máximos de ruido permisibles expuestos en los reglamentos vigentes en el Perú b) Respetar niveles de exposición al ruido permisible según el estándar OSHA 1910.95. c) Niveles de exposición de ruido permisible dentro de la planta, de acuerdo con las prácticas reconocidas en la industria de hidrocarburos.
- Dependiendo de la naturaleza de los productos que se almacenan en los tanques y recipiente de almacenamiento de hidrocarburos estos deberán ser localizados en diques de contención de acuerdo a las normas y disposiciones que se establecen en el Reglamento de Almacenamiento de Hidrocarburos.
- La selección de material, diseño, fabricación y prueba de tanques cilíndricos verticales de acero de almacenamiento deberá ser realizado de acuerdo con los códigos y estándares ASTM (Sociedad de Pruebas y Materiales), API 650 Y 2510, ASME y ANSI o equivalentes.

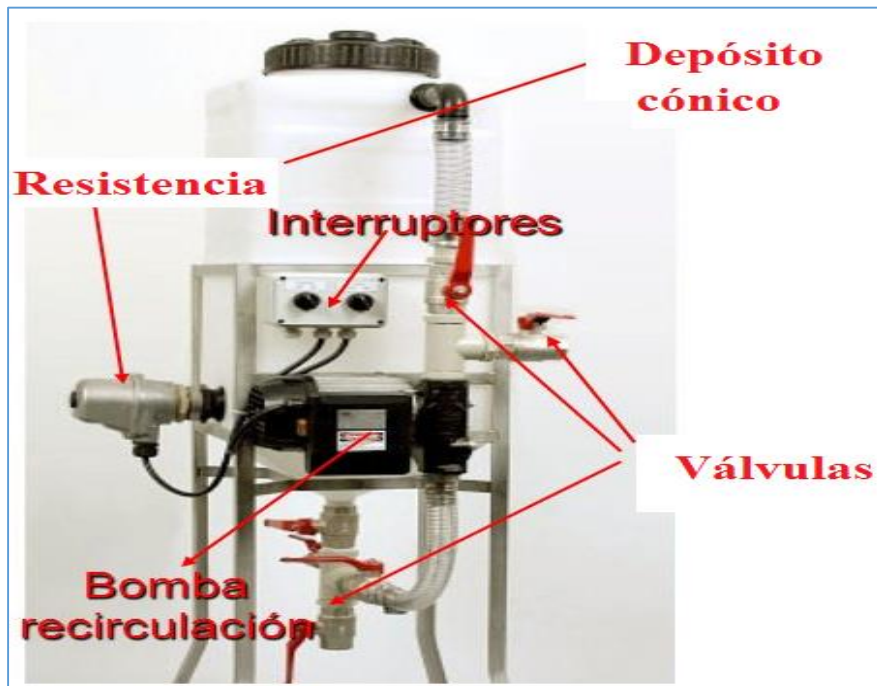
**Tabla N° 11. Materiales para la construcción de la Planta Piloto**

<b>Ítem</b>	<b>Cantidad</b>
Tanque de 40 lts de Acero con tapa	1
Bomba centrífuga 40 lts/min	1
Caño K 10 PEBD 2"	0.2 m
Caño K 10 PEBD 1"	0.8 m
Codo PEBD 1"	1
Enchufe rosca 1" PEBD	1
Bajada Tanque 1"	1
Te 2x2x2 " PP	1
Buje reducción MH 2x1"	1
Niple 1"x 6cm	1
Buje entre rosca 1"	1
Unión doble 1"	1
Curva 90°	1
Bajada de Tanque 1"	1
Abrazaderas para los caños K10	6
Llave de paso 1"	1
Canilla 1"	1
Resistencia para calefón(tipo tachito)	2
Enchufe p/resistencia	2
Cable 4 mm	1,5 m
Cable 1.5 mm bipolar enfundado	0.5 m
Caja p/llaves térmicas	3 ó 1
Llave térmica 15 A	1
Llave térmica 25 A	2
Enchufe M-H(macho-hembra)	1
<b>Complementarios</b>	
Compresor de aire	1
Termómetro 250°C	
EPP (anteojos, guantes y mascara p/vapores)	

• PEBD- Polietileno de Baja Densidad (Caño negro)

PP- Polipropileno (Cañería Sanitaria tipo Hidro 3)

**Figura N° 24. Planta Experimental**



#### **4.1.3 Insumos Químicos.**

- Aceite vegetal usado o nuevo
- Alcohol metílico (metanol) grado industrial
- Soda cáustica
- Energía eléctrica

#### **4.1.4 Solución Reactiva**

- Preparación de la solución reactiva (Metóxido) para 300 Lt de aceite 60 Lt de Metanol grado industrial 2000 gramos de Soda Cáustica comercial
- En un bidón de plástico de 100 Litros de capacidad incorporar los 60 litros de metanol y agregarle los 2Kg de la soda cáustica. Agitar hasta que la soda cáustica quede prácticamente disuelta. Esta preparación se puede hacer mientras se está calentando el aceite.
- Para tener una buena calidad de biodiesel es conveniente que el aceite que utilicemos se encuentre lo más limpio posible. Para ello podemos dejar decantar unos días el

aceite recolectado y luego filtrarlo con malla mosquitera, y si fuera posible con algún filtro de papel.

#### **4.1.5 Procesos para la Producción de Biodiesel.**

Los procesos para el sistema de producción de Biodiesel se detallan a continuación:

##### **4.1.5.1 Pre-tratamiento del AVU:**

La primera operación es la purificación del aceite de cocina usado. Luego del proceso de fritura, el aceite puede venir con restos sólidos de comida, tantos gruesos (filtrables) como finos (separables más fácilmente por decantación), con agua de los alimentos y con un grado de degradación variable (según la temperatura y el tiempo que se ha usado para freír). Para cada lote de aceite, lo ideal es primero filtrarlo y luego verificar si contiene agua y determinar su índice de acidez, que indicará cuán degradado está y cuánto catalizador se deberá utilizar en la transesterificación.

#### **Recepción**

- El aceite debe ser recibido en cilindros o depósitos de plástico o metal. En caso de ser producción propia, este debe ser almacenado, preferentemente, en cilindros o baldes de 20 a 50 litros, para una fácil manipulación de estos.
- Por lo general, rápidamente se depositan en el fondo restos sólidos de comida.
- En lo posible hay que tratar de no remover los restos sólidos de comida, para no ensuciar el aceite ni dificultar el filtrado.
- Es preferible llevar un registro de la cantidad y calidad del aceite recibido, con la finalidad de poder conocer las características del aceite recibido por cada proveedor.

#### **Filtrado**

- La operación de filtrado del aceite se realiza manualmente.
- Se pasa el aceite a través de una malla metálica y un filtro grueso, lo cual sirve para separar las partículas gruesas que se encuentran en suspensión en el aceite, y se conduce el aceite filtrado al cilindro de almacenamiento.
- Si el aceite es muy viscoso, el filtrado se facilita calentándolo ligeramente.
- Luego del filtrado, se registra para cada envase la tara de sólidos remanentes y la tara del envase vacío.

- Los sólidos se almacenan en baldes o latas para destinarlos al compostaje o alimentación animal.

### **Almacenamiento y sedimentación de sólidos finos**

- El aceite filtrado se almacena en uno de los cilindros de plástico destinados a este fin.
- Se debe mantener el cilindro tapado para evitar el ingreso de impurezas, como polvo o insectos.
- En el fondo del tanque se irán depositando sólidos finos que formarán una especie de lodo. Así, periódicamente, será necesario limpiar el tanque para descargar tal impureza.
- El lodo será separado y destinado al compostaje o alimentación animal.

### **Determinación de la humedad**

- Se toma una muestra pequeña de aceite de no más de medio litro, se pone en una cocina o plancha eléctrica y se calienta hasta llegar a los 100 °C. Si el aceite empieza a burbujear, a crepitar o crujir, es indicador de que contiene agua; entonces habrá que secarlo antes de transformarlo en biodiesel.

### **Secado del aceite**

Como veremos seguidamente, el secado del aceite se puede realizar de dos maneras, aunque resulta más recomendable la segunda:

- Se emplea un cilindro de 50 galones, abierto. Se calienta hasta 90°C y se deja que concluya el proceso de burbujeo y crujido; es importante un cuidadoso control de la temperatura para evitar que se queme el aceite, se acidifique o se rancie. No se recomienda utilizar el secador de biodiesel ya que quedaría sucio con aceite; es preferible emplear un recipiente que tenga base cónica, con un desfogue en el centro del cono, con la finalidad de ir purgando el agua que se vaya separando del aceite cuando se calienta. Esto ahorra tiempo y energía.
- Empleando el mismo reactor de biodiesel, se calienta hasta aproximadamente 60 ó 70 °C y después se deja sedimentar. Por diferencia de densidades, el agua se depositará al fondo y se podrá separar manualmente por la válvula de drenaje inferior. Después de esto, el aceite está listo para la transesterificación.

## Determinación de la acidez

Este paso es muy importante para saber qué cantidad de catalizador es necesaria para la reacción. Se necesita un equipamiento básico de laboratorio para medir pesos y volúmenes exactos.

Materiales necesarios:

- Equipo para titulación: bureta, soporte, vaso pequeño, matraz.
- Pipetas de 1 ml y 10 ml.
- Solución al 0.1% de KOH en agua destilada (1 gr de KOH diluido en 1 l de agua destilada).
- Fenolftaleína.
- Etanol.
- Muestra de aceite.

Procedimiento:

- Tomar 1 ml de muestra de aceite con la pipeta y ponerlo en el matraz.
- Diluir con 10 ml de etanol. Mezclar bien. Si no se diluye totalmente, calentar ligeramente. Aplicar 5 gotas de fenolftaleína y volver a mezclar.
- Llenar la bureta con solución de KOH 0.1%.
- Dejar caer la solución de la bureta a la mezcla de aceite y alcohol gota a gota hasta que el color se torne rosado (este procedimiento se denomina titulación).
- Anotar el gasto de KOH. Llamaremos a este valor X.
- Repetir la prueba un mínimo de tres veces para asegurar que los resultados sean exactos.

Significado de la prueba:

- La cantidad X de KOH gastado en la titulación indica la acidez del aceite, causada por la presencia de ácidos grasos libres, liberados cuando se fríe en exceso. Esta es también la cantidad de catalizador necesaria para neutralizar la acidez del aceite, la cual se expresa de esta manera: “X gramos de KOH / litro de aceite”.
- Si X es menor a 2 gr KOH/litro, entonces se puede hacer la transesterificación directamente. En este caso, la cantidad de catalizador a utilizar sería de  $7+X$  por cada litro de aceite que se vaya a procesar.
- Si X es mayor a 2 gr KOH/litro, puede haber problemas de formación de jabones, lo cual interferiría en la producción de biodiésel. Se requerirá entonces neutralizar el aceite.

### Neutralización del aceite

- Se pone el aceite en un recipiente grande, de preferencia de acero inoxidable, y nunca de aluminio, pues este se corroe de forma rápida con el KOH o el NaOH.
- Por cada litro de aceite a procesar, disolver X gramos de KOH en 20 ml de agua. Este procedimiento debe hacerse con cuidado, utilizando guantes y lentes de protección, pues el KOH es irritante y podría quemar las manos.
- Cuando la solución esté bien disuelta, ésta se debe agregar lentamente y con mucho cuidado al aceite, removiendo con constancia.
- Se verá que se empiezan a formar pequeños grumos, que son jabones producidos al reaccionar el KOH con los ácidos grasos libres.
- Después de que todo esté bien mezclado, filtrar nuevamente el aceite a fin de separar el jabón que se formó.
- Por último, volver a titular el aceite para determinar si disminuyó la acidez. Si ésta es menor a 2 gr KOH/litro, se procederá a la transesterificación.

#### 4.1.5.2 Trans-Esterificación [3][5][9].

Los siguientes pasos se deben tomar en cuenta al momento de operar el reactor:

- Asegurarse de que todas las válvulas que entran y salen del reactor están cerradas.
- Transferir el aceite desde el tanque de almacenamiento hasta el reactor, mediante la manguera de aceite, y a través de la tapa superior del reactor.
- Encender la resistencia y el motor de agitación del reactor y calentar el aceite hasta 50°C con agitación constante.
- Usar un mínimo de 40 litros de aceite o una cantidad que cubra por completo la resistencia para que esta no se malogre. Una vez lleno el reactor con la cantidad de aceite, taparlo.
- Mezclar en el tanque de metóxido el catalizador (potasa cáustica, KOH) con el alcohol (metanol) en las proporciones calculadas con el método de la titulación. Tapar bien, encender el motor y agitar hasta que la potasa se disuelva (mínimo 15 minutos).
- Evitar respirar vapores del alcohol o la potasa, o tocarlos con las manos, ya que ambos son dañinos.
- Es preferible poner teflón en la rosca de las tapas de los tanques para evitar escape de los gases formados por el metanol y el hidróxido de potasio en los tanques.



- Evitar dejar la potasa en contacto con el aire mucho tiempo porque se humedece y carbonata, perdiendo su actividad catalítica.
- Registrar las cantidades de insumos utilizados (aceite, metanol y catalizador) y cualquier otro parámetro que afecte la reacción.
- Cuando el aceite llegue a los 50°C, se debe abrir las válvulas que comunican el tanque de metóxido con el reactor.
- Cuando se haya transferido todo el metóxido al reactor, volver a cerrar ambas válvulas.
- Dejar la mezcla en agitación por 1.5 horas manteniendo una temperatura constante.
- Apagar el equipo y dejar reposar hasta el día siguiente (mínimo 8 horas). Pasar al tanque decantador la mezcla.
- Luego del reposo, se habrán separado dos productos: el biodiesel (arriba) y la glicerina (abajo).
- Drenar primero la glicerina abriendo las válvulas (en caso se haya decantado en el reactor) o en caso se haya utilizado el decantador. Almacenar la glicerina en una galonera aparte. La glicerina se reconoce por su color marrón oscuro y porque es bastante viscosa (espesa). Al drenar, no forma espuma. Cuando el líquido se empiece a aclarar y hacer menos espeso, es que ya está saliendo una mezcla de glicerina y biodiesel. En este momento, se debe cerrar la válvula que se esté utilizando, esperar unos segundos a que el contenido del reactor se asiente y, luego, volver a abrirla ligeramente, para drenar lo último que quede de glicerina.
- En el proceso de drenaje de la glicerina, usar una máscara protectora para vapores y evitar respirar cualquier emanación, ya que la glicerina sigue conteniendo cantidades significativas de metanol. Es preciso utilizar guantes.
- Transferir el biodiesel al tanque de lavado. Para esto, cerrar y abrir las válvulas respectivas. Prender la bomba, y apagarla apenas empieza a succionar aire.
- En caso de haber usado el decantador, el biodiesel se puede lavar en el mismo tanque o se puede transferir al secador y realizar ahí el lavado. Para esto se cierran y abren las válvulas respectivas; y se hace el trasvase.

#### **4.1.5.3 Control de Calidad del proceso de trans-esterificación.**

Para verificar que la transesterificación se haya realizado con éxito, se deben controlar dos puntos:

- Se debe observar una separación de fases marcada de biodiesel y glicerina. Si no hay separación, entonces no ha habido reacción. En este caso se debe evaluar cuál es el motivo de este problema.
- Observar que la prueba de lavado del biodiesel sea exitosa. La prueba de lavado consiste en tomar una pequeña muestra de biodiesel (100 a 200 ml), ponerla en una botella limpia de vidrio o plástico, agregar aproximadamente la misma cantidad de agua, agitar por 10 a 15 segundos hasta que el agua y el biodiesel se mezclen completamente, y dejar reposar por algunos segundos. Si se da una separación rápida de ambos líquidos (30 minutos aproximadamente), significa que el biodiesel es de buena calidad. Si se separan, pero entre ambas fases hay una capa de espuma o jabón, se puede continuar con el lavado de todo el lote añadiendo ácido fosfórico al agua para facilitar la separación, y se debe procurar mejorar el proceso de transesterificación. Si el agua y el biodiesel no se separan adecuadamente, sino que permanecen mezclados formando una emulsión lechosa, quiere decir que el proceso de transesterificación no ha sido completo.

#### **4.1.5.4 Tratamiento Posterior del Biodiesel (lavado, secado y filtrado).**

##### **Lavado**

Se realizarán tres lavados durante los tres días posteriores a la transesterificación. La metodología para cada lavado es la siguiente:

- Agregar 25 litros de agua al tanque de lavado al que previamente se ha transferido el biodiesel.
- Conectar al tanque de lavado la bomba de aire con las mangueras destinadas a tal fin.
- Prender la bomba de aire y dejar funcionar por lo menos durante 6 horas.
- A última hora de la tarde o a primera hora del día siguiente desconectar la bomba de aire.
- Dejar reposar por varias horas hasta que el agua se asiente al fondo.
- Drenar el agua sucia por la válvula y desechar.
- Cuando se haya drenado toda el agua de lavado, volver a echar otros 25 litros de agua al tanque y conectar de nuevo la bomba de aire. En la tarde volver a desconectar.
- Al siguiente día drenar el agua, volver a echar 25 litros de agua limpia y conectar la bomba de aire. En la tarde volver a desconectar.

- Cuando se separa el agua de lavado, en algún momento empezará a salir una mezcla de biodiesel con agua, posiblemente en forma de emulsión (color blanco a amarillo lechoso). Colectar esta emulsión en un balde o recipiente aparte y dejar reposar por 2 a 3 días. Lentamente, se separará una capa de biodiesel en la parte superior. Recuperar este biodiesel y mezclarlo con el que se esté lavando. Desechar el agua con el jabón restante.

### **Secado**

El secado se realizará una vez se hayan terminado los tres lavados y se haya dejado tiempo suficiente (mínimo 6 a 8 horas) para que el agua y el biodiesel se separen completamente. En este momento se transferirá el biodiesel al tanque de secado por medio de una manguera conectada a la válvula.

- Primero verificar que salga biodiesel y no agua, y que el biodiesel esté relativamente transparente, no mezclado con agua. Si esto no es así, puede deberse a dos causas:
  - Demasiada agua en el tanque y por lo tanto aún estamos drenando la capa de agua en lugar de drenar la capa de biodiesel. En este caso, utilizando la válvula drenar un poco de agua de lavado (aprox. 5 litros) y descartar.
  - Una capa de emulsión, es decir mezcla de biodiesel con agua, que se produce por la presencia de impurezas. Esta emulsión (líquido de color lechoso, amarillento o blancuzco) se debe separar del biodiesel limpio. En este caso, drenar la emulsión en un balde por la válvula hasta que empiece a salir biodiesel limpio y dejar reposar durante unos días para que el biodiesel se vaya separando en la parte de arriba. Este biodiesel se recupera y el resto se puede descartar.
- Una vez que se tenga buen biodiesel saliendo por la válvula, conectar una manguera hasta el tanque de secado; abrir las válvulas; y encender la bomba. Se debe cuidar que las demás válvulas estén cerradas.
- Después de realizar el lavado, se prende la resistencia y se calienta el biodiesel manteniendo una temperatura constante de 90 °C, evitando llegar a temperaturas mayores a 100 °C pues el biodiesel se degrada y acidifica. Mientras se va calentando, hay que purgar poco a poco el secador abriendo la válvula para eliminar el agua que se vaya acumulando en la base, con esta operación se ahorra tiempo y energía.
- El biodiésel estará totalmente seco cuando:
  - No se vea formación de burbujas ni se oigan crujidos del agua hirviendo.

- El líquido esté totalmente translúcido (y se pueda ver el fondo). Si está un poco turbio, es que aún tiene agua o jabón.

## Filtrado

- Luego del secado, el biodiesel se filtra para evitar todo tipo de impurezas.
- Asegurarse de que el biodiesel no esté demasiado caliente antes del filtrado (la temperatura no debe superar los 50 °C).
- Se abren las válvulas y se filtra el biodiesel. Una vez filtrado está listo para ser utilizado puro o mezclado con diésel 2.
- Poner una galonera o conectar la salida a un depósito de almacenamiento a la salida del filtro. Rotular y controlar adecuadamente la cantidad obtenida. Asimismo, llevar el registro de la cantidad de biodiesel obtenido en cada lote.

### 4.1.6 Tanque Decantador y Tanque de Lavado

El lavado sirve para extraer las grasas emulsionadas que aun quedaron presentes en el aceite. Estas grasas generan carbón en las cámaras de combustión de los motores y en los inyectores. Además, en este proceso se corrige la acidez del biodiésel, llevando su pH hasta la neutralidad la mayoría de las veces.

**Tabla N° 12. Materiales para el Decantador y Lavador**

Ítem	Cantidad
Tanque 200 lts	2
Canilla ½ "	2
Te PP 3/4x1/2x3/4"	2
Niple PP ¾ x 5 cm	1
Enchufe-rosca 3/8 x ½" (para indicadores de nivel y difusor de aire)	2
Acople rápido para compresor + llave de paso	1
Niple con rosca doble tipo entrada de tanque	2
Bujes de teflón	10
Manguera transparente 3/8 "(indicadores de nivel y difusores de aire)	2.0 m
Abrazaderas y remaches para indicadores de nivel	3

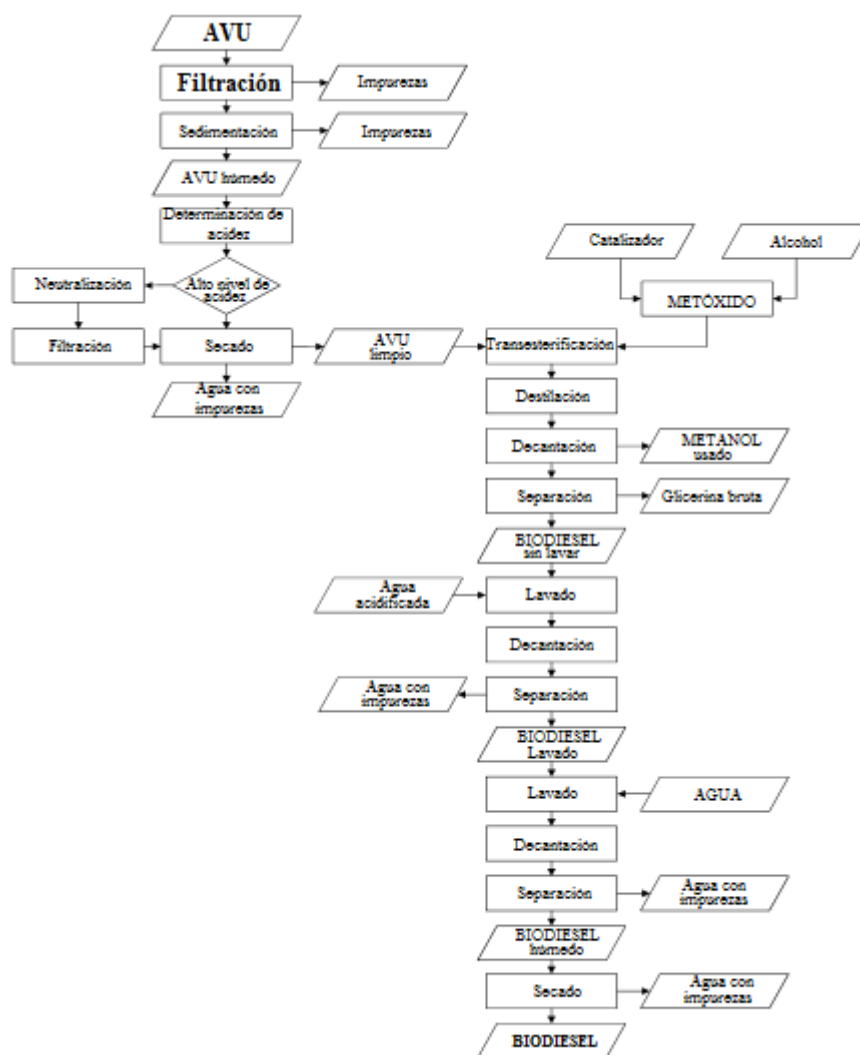
Para realizar el mismo se debe tener en cuenta que en el tanque de lavado debe entrar el biodiesel a lavar más la mitad de esa cantidad de agua. Es decir, si tenemos un tanque de 200 litros pondremos unos 120 de producto y unos 60 de agua por ejemplo. Luego se inyecta aire mediante el uso de un compresor u otro sistema durante unos 15 minutos y se deja decantar durante 30 minutos. Se separa el agua jabonosa, el jabón líquido, y se repite el proceso hasta obtener agua limpia y biodiesel.

**Figura N° 25. Decantador y Lavador**



#### 4.1.7 Esquema del proceso de producción de BIODIESEL propuesto.

Figura N° 26. Diagrama de la Producción de Biodiesel



#### 4.1.8 Seguridad Industrial.

En todo tipo de producción a nivel industrial, es de primordial importancia abarcar el tema de seguridad. Tomando en cuenta el correcto uso de los insumos químicos involucrados en la producción del Biodiesel y dispuestos a utilizar los EPP (equipos de protección personal).

##### 4.1.8.1 Manejo de Insumos Químicos

Es muy importante tener en cuenta que se está trabajando con insumos químicos peligrosos: el metanol es altamente inflamable y tóxico por inhalación, ingestión y contacto; el NaOH es corrosivo, irritante si se inhala el polvo y quema la piel si se toca. Por ello, la

adecuada selección de ropa y equipamiento de seguridad, así como de los materiales que estarán en contacto con estos químicos, es fundamental.

**EL METANOL:** es una sustancia altamente toxica e inflamable, por lo que es importante utilizar las medidas de seguridad adecuadas. Utilizar una máscara para vapores orgánicos, anteojos de protección, guantes de látex adecuados, y delantal de seguridad.

Realizar los trasvases y ubicar el reactor en lugares bien ventilados, alejado de otras fuentes de calor. Tener máximo cuidado al momento de incorporar el Metóxido al aceite caliente, ya que parte del metanol se evapora.

Guardar el metanol en un lugar seguro y en un envase con la identificación adecuada (mejor si tiene la etiqueta de seguridad para sustancias peligrosas según Naciones Unidas) Los otros productos generados en el proceso (glicerol, jabón líquido y agua jabonosa) pueden ser vertidos en un mismo bidón plástico, para luego separarlos. A estos se les puede dar diferentes usos, como por ejemplo el glicerol como hormiguicida, y el jabón líquido para lavarse las manos. Usando todo, ya no queda ningún residuo.

**LA SODA CÁUSTICA:** (Hidróxido de Sodio) es una sustancia corrosiva, por lo que debe almacenarse en un lugar fresco y seco, utilizando los elementos de protección personal para el manipuleo del mismo. Durante el proceso de hay que tener en cuenta que se trabaja con sustancias a más de 60 ° C, con lo cual nos estamos exponiendo a riesgo de quemadura. Es importante utilizar el delantal de seguridad, pero sobre todo estar atentos al manejo de la situación.

#### **4.1.8.2 Equipos de Protección Personal (EPP)**

##### **Guantes:**

- Emplear guantes de jebe (o de preferencia de nitrilo) todo el tiempo que se trabaje con metanol y con KOH o NaOH.
- Enjuagar los guantes de jebe inmediatamente con abundante agua luego de manipular el KOH o NaOH, porque estas sustancias atacan el caucho.
- Emplear guantes de cuero cuando se trabaje con superficies calientes.

**Figura N° 27. Guantes de Protección de Nitrilo**



**Máscara:**

- Usar máscara con respirador para gases orgánicos y para partículas.
- Utilizarla obligatoriamente cuando se trabaje con metanol y con KOH o NaOH.

**Lentes protectores:**

- Usar lentes de protección cuando se trabaje con metanol y con KOH o NaOH.

**Mandil:**

- Uso obligatorio todo el tiempo.

**Botas:**

- Botas de jebe.

**Extintores:**

- Se debe contar con extintores de espuma o de polvo seco en todo lugar donde se almacene y/o manipule metanol, aceite y biodiesel, o mezclas de ellos.
- Ubicarlos en lugares de fácil acceso y adecuadamente marcados.

**Saco de arena:**

- Como medida extra para casos de incendio, contar con un saco o barril lleno de arena en un lugar visible y adecuadamente marcado.

**Ducha y Lava ojos de emergencia:**

- Contar con ducha de emergencia para casos de derrame o salpicadura con metanol o con soluciones concentradas de KOH, NaOH o ácidos.
- Asimismo, contar con dispositivo de lavado de ojos para los mismos casos.



## 4.1.9 ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

### 4.1.9.1 Costo de inversión

Los costos de inversión representados por la adquisición de maquinaria y equipo se desglosan en la tabla 13 y 14. Finalmente estos costos se resumen en la tabla 15, mostrando el costo total de la inversión. La tabla 13 muestra el costo estimado del material necesario para la implementación del proceso de biodiesel en la mini planta diseñada.

Tabla 13. Costos de maquinarias y equipos

Concepto	Cantidad	Costo unitario(\$)	Importe total(\$)
Tanque 40 litros acero inox 316	1	2,000.00	2,000.00
Tanque 200 litros acero inox 316	2	4,000.00	8,000.00
Accesorios y acoplamientos	--	1,000.00	1,000.00
Balanza	1	150.00	150.00
Válvula	15	10.00	150.00
Manguera 100m	1	50.00	50.00
Contenedores (Baldes)	30	10.00	300.00
TOTAL			11,650.00

La tabla 14 muestra el costo de los reactivos adquiridos en cantidades industriales, necesarias para la producción de biodiesel. La inversión mensual de (\$) 5,880.00 permitirá cubrir la producción de 7,857.1 litros de biodiesel.

Tabla 14. Costos de insumos mensuales

Concepto	Cantidad diaria	Cantidad mensual	Costo Unitario (\$)	Importe Total (\$)
Metanol	60 L	1,800.00 L	3.00	5,400.00
Aceite vegetal usado	300 L	9,000.00 L	---	---
Hidróxido de sodio	2 Kg	60 Kg	8.00	480.00
TOTAL				5,880.00

La tabla 15 muestra el costo total requerido para inicio de operación de la mini planta en el sistema de gestión planteado.

Tabla 15. Costo total de la inversión

Concepto	Importe (\$)
Maquinaria y equipos	11,650.00
Materia prima	5,880.00
TOTAL	17,530.00

Según la tabla 16 el costo por galón de producción de biodiesel al 100% es de (\$) 2.80 aproximadamente.

Tabla 16. Costo unitario de producción de biodiesel

Descripción	Valor
Gasto en materia prima (mes)	(\$) 5,880.00
Producción de biodiesel (mes)	7,857.00 Litros
Costo por L de biodiesel	(\$) 0.75
Costo por galón de biodiesel	(\$) 2.83

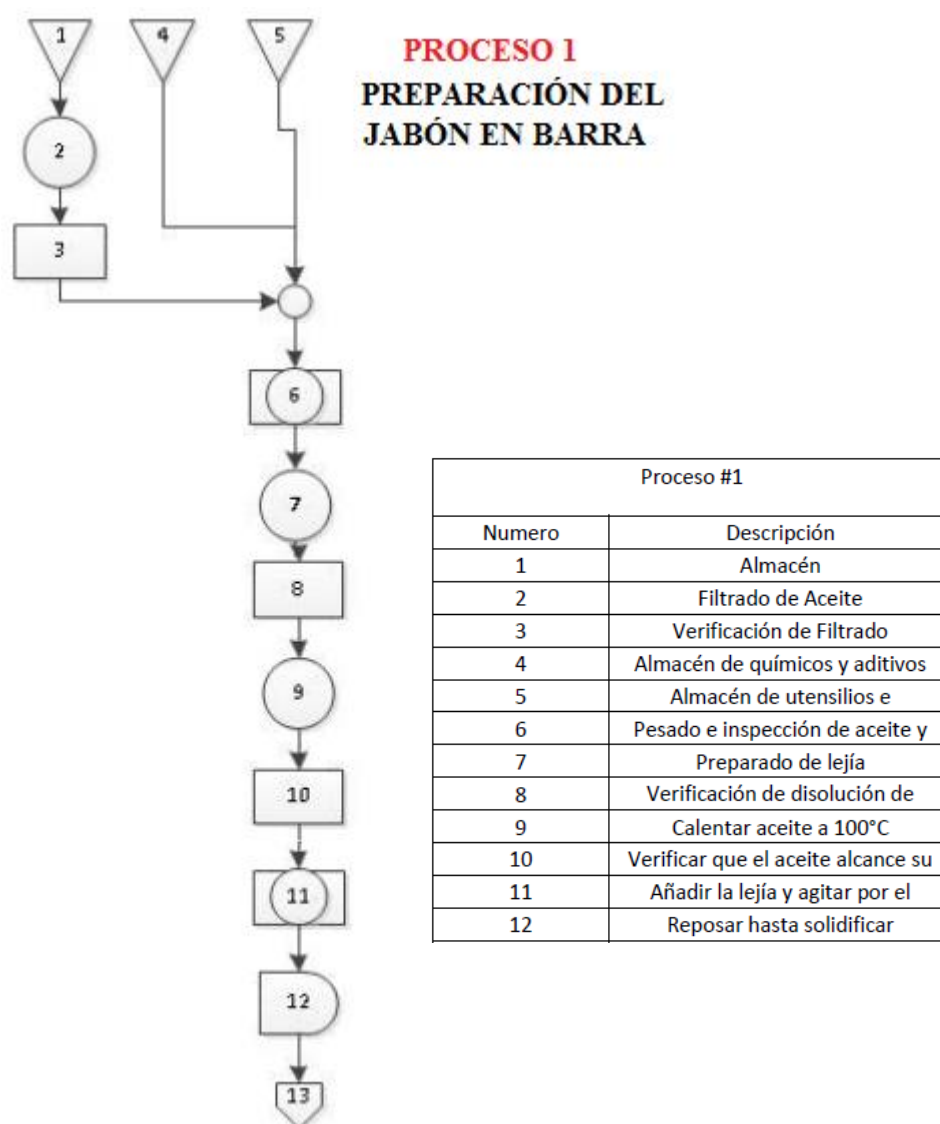
Según los datos de las tablas anteriores podemos decir:

- La inversión requerida para iniciar el funcionamiento de la planta es de  
**(\$) 17,530.00**
- El gasto mensual necesario para la producción es de  
**(\$) 5,880.00**
- El monto invertido se recuperará según los cálculos estadísticos en 2 meses como máximo, si todo el biodiesel producido se vende en ese tiempo.

## 4.2 PRODUCCIÓN DE JABÓN GEL PARA MANOS

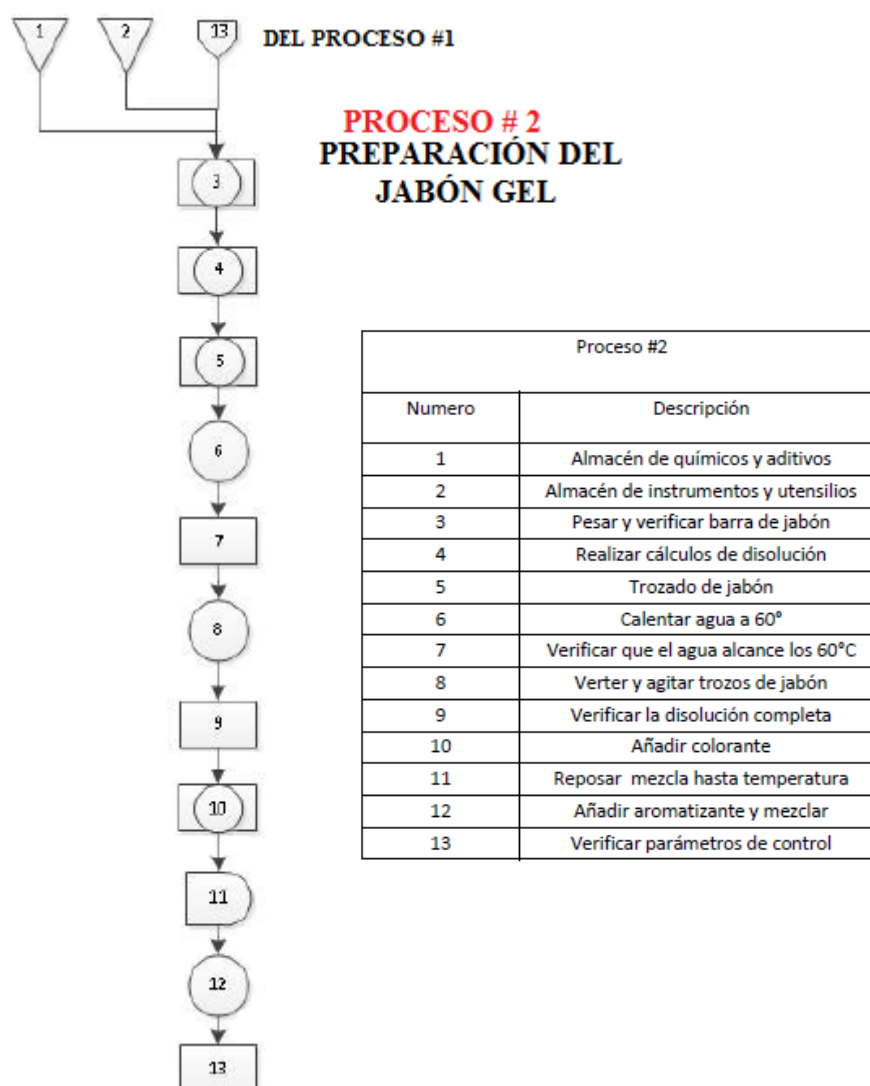
Primero se determina el proceso de producción del jabón gel. De acuerdo a la información de diferentes autores se determina un proceso para la fabricación de jabón gel, el cual se ha dividido en dos principales procesos como se puede observar en el diagrama inferior, se observa el primer proceso para la elaboración de jabón en barra.

**Figura N° 28. Diagrama del Proceso #1**



El proceso #2 es la disolución del jabón en pasta para convertirlo a jabón gel el diagrama de proceso se presenta a continuación el cual se muestra enseguida:

**Figura N° 29. Diagrama del Proceso #2**



#### 4.2.1 CANTIDAD DE UNIDADES A PRODUCIR

Proceso #1

La fórmula para la elaboración del jabón en pasta es:

**AGUA 1 + Hidróxido de Sodio + Aceite usado = Jabón Pasta**

**72.23 gr (agua 1) + 13.04 gr (NaOH) + 82.01 gr (aceite usado) = 136.12 gr (Jabón pasta)**

Proceso #2

La fórmula para la elaboración del jabón en gel es:

**AGUA 2 + jabón pasta + Ácido cítrico + colorante + esencia = Jabón Gel**

$$972.26 \text{ gr (agua 2)} + 136.12 \text{ gr (jabón pasta)} + 0.2064 \text{ gr (ac. citrico)} + 1.5 \text{ gr (colorante)} + 3 \text{ gr (esencia)} = 1 \text{ Kg JABÓN GEL}$$

Se sustituyen las cantidades necesarias de cada ingrediente para la preparación de:

En base a estos cálculos se determina la capacidad de producción en función a la producción de aceite disponible entonces según la ecuación anterior, la cantidad necesaria de pasta para la producción de 1kg de jabón en gel es 136.12gr, según la ecuación anterior nos dice que la cantidad de aceite necesaria para producir esta cantidad de pasta son 82.01gr de aceite usado, entonces aplicando una regla de tres se puede determinar la capacidad de producción que tenemos.

$$\text{Capacidad de producción} = \frac{(\text{cantidad de aceite disponible día}) * (1000\text{gr de jabón gel})}{\text{cantidad de aceite necesaria para 1000gr de jabón gel}}$$

Por lo tanto para conocer nuestra capacidad de producción diaria, primero tenemos que deducir que cantidad de aceite tenemos según los datos anteriores y la densidad del aceite usado, para así al sustituir valores en la ecuación anterior tengamos la capacidad de producción de jabón gel por día. [7][8][9].

Se ha encontrado que se tiene una producción de AVU por día de 340.19 Litros, y siendo la densidad promedio del avu de 0.9193 g/cc, entonces se tiene a diario 312,736.7 gramos de avu, esto es 312.74 kilogramos de aceite vegetal usado.

Remplazando en la ecuación anterior:

$$\text{CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN} = \frac{(312,736.74 \text{ gr. aceite}) * (1000 \text{ gr. jabón gel})}{82.01 \text{ gr. aceite}}$$

$$\text{CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN} = 3,813.4 \text{ kg JABÓN GEL}$$

Sin embargo para nuestros cálculos de costos se toma un valor de avu producido diario de 5,315.70 gr. Aceite usado, con lo cual se produciría 64.80 Kg. De Jabón gel diario. En base a esta última se determina los materiales a utilizar en la producción.

#### 4.2.2 Evaluación económica para la industrialización de jabón gel para manos

Para la fabricación del diario del jabón gel se realizaron cotizaciones en diferentes empresas de la ciudad de lima, para solicitar precios de los materiales necesarios para la producción de jabón gel, según la tabla siguiente:

Tabla 17. Cotización de materiales (IGV incluidos)

EQUIPOS	COSTOS (\$)
Máquina revolvedora	1,957.00
Recipientes de 5 litros	45.00
Bidón plástico de 20 litros	150.00
1 m <sup>2</sup> de manta cielo	90.00
Bastidor aro para bordar de 30 cm	60.00
Báscula porciadora de 20 kg	1,900.00
Cubeta plástica de 20 litros	180.00
Cazón de acero inox de 10 L #2	800.00
Cazón de acero inox de 20 L #3	1,400.00
Charola mediana de acero inox	250.00
Cucharon de madera mediano	40.00
Rallador	39.00
Termómetro de mercurio 10-400 °C	237.00
pH-metro de campo electrónico	2,100.00
Tambo de 50Kg (almacenar el gel)	150.00
Googles de presión	160.00
Mascarilla de carbón	220.00
Guantes de látex para químicos	120.00
Mandil de látex	150.00
<b>MONTO DE INVERSIÓN</b>	<b>10,048.40</b>

En la siguiente tabla se determinan los costos del proyecto

#### 4.2.2.1 Costos

Tabla 18. Costos variables

Materia Prima	Anual (\$)	Mensual (\$)	Costo unitario (\$)	
Sosa	430.39	37.87	0.60	
Aceite	676.66	56.39	0.94	
Agua	484.87	40.41	0.67	
Ácido cítrico	10.44	0.87	0.01	
Colorante	270.00	22.50	0.38	
Aroma	192.24	16.02	0.27	2.87

Tabla 19. Costos fijos

Descripción	Anual (\$)	Mensual (\$)	Costo unitario (\$)	
Nómina (1 trabajador)	4,800.00	400.00	6.67	
Agua	480.00	40.00	0.67	
Luz	480.00	40.00	0.67	
Gas	500.00	41.67	0.69	
Gastos de mantenimiento	600.00	50.00	0.83	13.46

En base a estos costos la producción se determina el punto de equilibrio en ingresos como en unidades.

#### 4.2.2.2 Punto de Equilibrio Método Gráfico

El punto de equilibrio se determinara mediante la siguiente fórmula. El costo total del bien se determina mediante:

$$C(x) = cx + k$$

**Donde:**

c = costo de producción por unidad

k = costo fijo

x = cantidad producida del bien

Los ingresos totales se determinan:

$$I(x) = sx$$

**Donde:**

s = precio de venta por unidad

x = cantidad vendida del bien

Aplicando las fórmulas anteriores se obtiene el costo total anual:

$$c = \$ 2.87$$

$$k = \$ 9,690.40$$

$$x = 720$$

$$C(x) = (2.87*720) + 9,690.40$$

$$C(x) = \$ 11,754.99$$

El ingreso total anual:

$$s = \$ 18.53$$

$$x = 720$$

$$I(x) = (18.53*720)$$

$$I(x) = \$ 13,341.60$$

En base a estas cantidades se determinará el punto de equilibrio usando la fórmula de:

$$B(x) = I(x) - C(x)$$

Donde:

B(x) es el beneficio o la ganancia obtenida sin embargo si se asume B(x)=0 este punto es en donde no existe ni pérdida ni ganancia, es decir este será el punto de equilibrio.

Para determinar la cantidad en unidades necesarias para alcanzar el punto de equilibrio:

$$B(x) = (18.53 - 2.87) x - 9826$$

$$0 = (18.53 - 2.87) x - 9826$$

$$x = 618.70$$

$$y = 618.70*18.53$$

$$y = \$ 11,464.52$$

Donde:

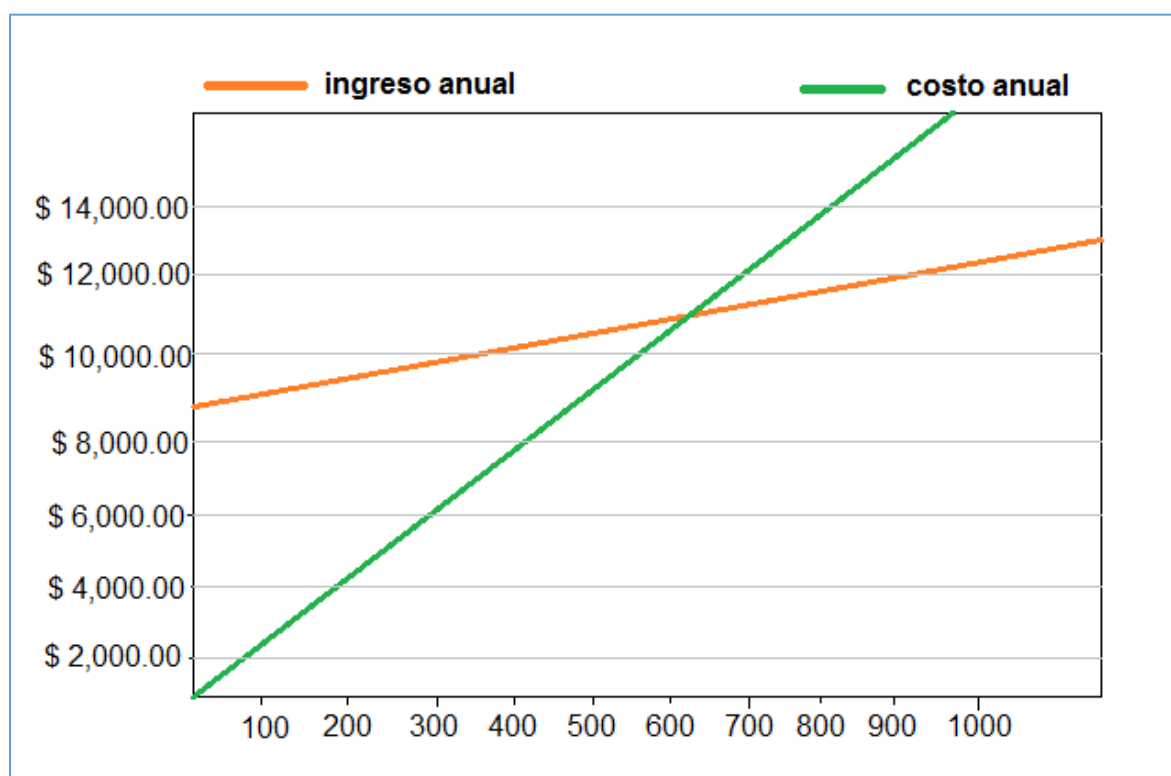
x = cantidad de unidades en el punto de equilibrio

y = ingreso en el punto de equilibrio

Se realiza una proyección de costos e ingresos a un año de funcionamiento, para (y) se obtiene el gráfico del punto de equilibrio.



Gráfico 9. Punto de equilibrio



En seguida vemos el punto de retorno de la inversión que se obtendría al producir su propio jabón en gel a base del reciclado de aceite.

Tabla 20. Costos de Producción

Unidades	60
\$ Unidad	<b>3.346</b>
Costo unidad	<b>3.346</b>
Ingresos	<b>\$ 200.76</b>
Costo de venta	<b>\$ 200.76</b>
Margen bruto	<b>\$ 0.00</b>
Nómina	<b>\$ 400.00</b>
Agua	<b>\$ 40.00</b>
Luz	<b>\$ 40.00</b>
Gas	<b>\$ 200.00</b>
Gastos mantenimiento	<b>\$ 30.00</b>
UNIDAD PROYECTO	<b>-\$ 710.00</b>

#### 4.2.2.3 Herramientas para evaluar la rentabilidad del Proyecto

**VAN:** El valor actual neto, trata de que la diferencia de los flujos de fondos que suministra una inversión, así también el capital que aporta inicial el cual es necesario para llevar a cabo la inversión. El VAN actualiza los futuros, a una determinada tasa de descuento predeterminada.

**TIR:** La tasa interna de rentabilidad, también denominada rendimiento interno de un activo

**COK:** Tasa de descuento o costo de oportunidad para el proyecto, es la tasa que paga la banca comercial por los depósitos en moneda extranjera, esta tasa en promedio es 12%.

**TREMA:** Tasa de rendimiento esperada

Tabla 22. Herramientas de rentabilidad

VAN	\$4,156.70
TIR	34%
TREMA	17%
PRD	3 años 2 meses

Para el caso del TIR resultó ser mayor que la COK, entonces el proyecto si es rentable.

$$\text{TIR } 34\% > \text{COK } 12\%$$

#### 4.3 OTRA ALTERNATIVA DE USO DE LOS AVU LA FABRICACIÓN DE JABÓN LÍQUIDO.

El producto a elaborar en la planta de proceso de la presente memoria es un jabón líquido con las siguientes características:

**Cuadro N° 9. Composición media del jabón líquido a producir.**

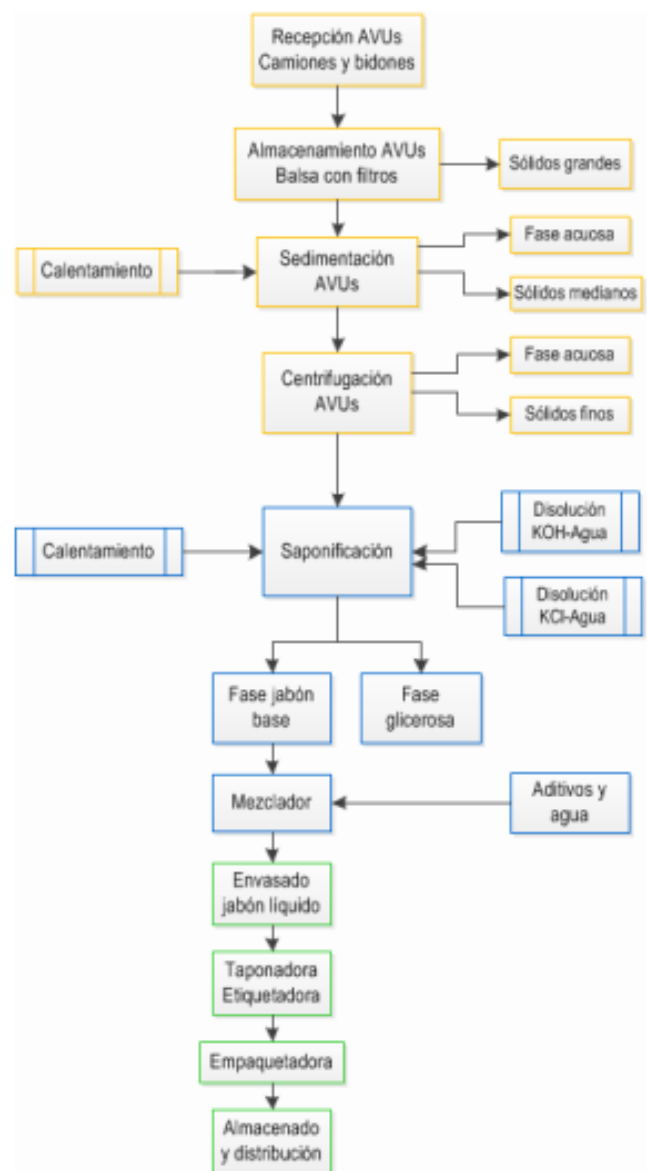
<b>Jabón</b>	30 – 40 %
<b>Agua</b>	50 – 70 %
<b>Glicerina</b>	3,5 – 6,0 %
<b>Aromas</b>	0,5 – 2,5 %
<b>Sal</b>	0,8 – 1,2 %
<b>Colorante</b>	0,01 – 0,2 %

#### **4.3.1 Diagrama de Bloques y Flujo del Proceso.**

A continuación, en el esquema de la figura N° 30, se representan todas las etapas del proceso de fabricación del jabón que se llevará a cabo en la planta de proceso. Básicamente la instalación puede dividirse en 3 secciones o áreas diferenciadas, que a su vez se subdividen en varias etapas que se describen a continuación:

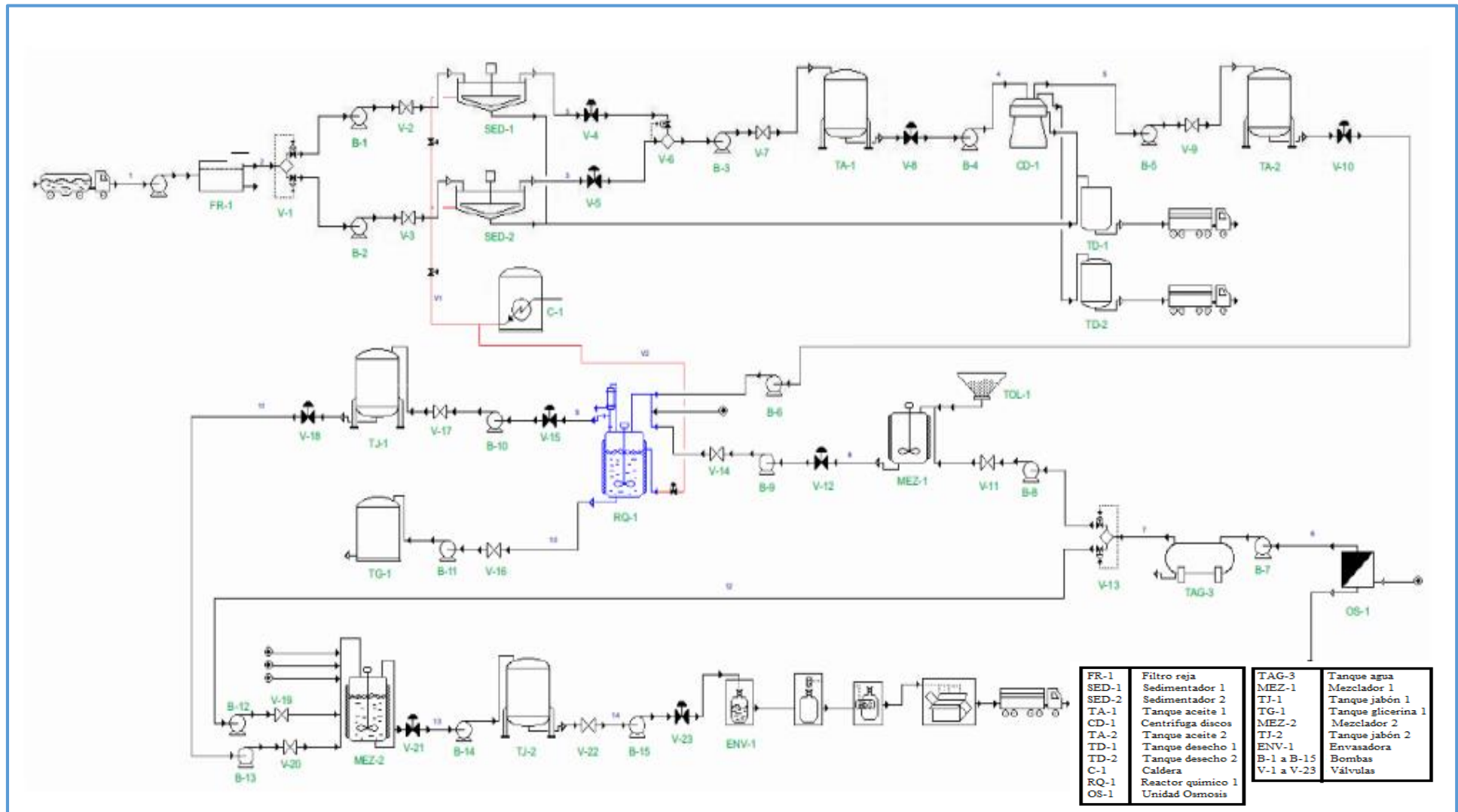
- **Área I:** se incluyen las operaciones físicas dedicadas al tratamiento previo del aceite usado procedente de particulares y del sector HORECA, de acuerdo con la normativa vigente a nivel europeo, nacional y autonómico. Se obtiene un aceite purificado listo para usarse en la siguiente etapa.
- **Área II:** se lleva a cabo el proceso de elaboración del jabón. Se produce la reacción de saponificación (ver anejo 3. “Cinética de la reacción de química”) entre los aceites purificados que provienen del área I y la disolución alcalina de potasa (KOH). Incluye también la adición de la sal al jabón obtenido, además de aromas, pigmentos y más agua para obtener el producto final, el jabón líquido.
- **Área III:** incluye las operaciones de enfriado del jabón líquido, envasado, etiquetado y taponado, empaquetado y almacenado para su distribución.

**Figura 30: Etapas del Proceso para producir Jabón Líquido. Diagrama de bloques.**



**Fuente: propio del autor**

Figura 31. Diagrama de flujo del proceso para la producción de Jabón Líquido.



### 4.3.2 Reacción de Saponificación.

#### 4.3.2.1 Reactor de saponificación.

Se trata de un recipiente cilíndrico tipo tanque agitado que opera en modo discontinuo o por lotes. Está provisto de un sistema de agitación de tipo hélice marina y de una camisa que lo recubre para su calentamiento.

**Descripción:** Reactor tipo tanque agitado cilíndrico, vertical, con fondo superior e inferior semielípticos 2:1, de acero inoxidable AISI 316, soportado por perfiles IPN, con agitador tipo hélice marina de 3 aspas y 4 tabiques deflectores. Provisto también de camisa de calefacción. [5][7][9].

**Cuadro N° 10. Características del reactor químico**

Diámetro interior (m)	1,79
Altura (m)	2,24
Capacidad total (m <sup>3</sup> )	5,65
Relación de esbeltez (H/D)	1,25
Espesor carcasa (mm)	3,18
Espesor fondos (mm)	3,18
Material	AISI-316

### Condiciones óptimas de reacción

La elección de los parámetros óptimos de la reacción de saponificación, e resume a continuación:

**Cuadro N° 11. Características de la reacción de saponificación.**

Parámetro	Aplicación al caso de estudio
Orden de reacción	Cinética de pseudo-primer orden
Tiempo de reacción	3,52 h
Constante cinética aparente, $k'$	0,0142 min <sup>-1</sup>
$[\text{KOH}]_0$	3,505
Grado de conversión de saponificación, $x_A$	0,95
Temperatura óptima	90-10°C
Concentración de álcali en la mezcla	25%
Relación NaOH/aceite (moles)	3:1

### Sistema de agitación

Se ha seleccionado un agitador de tipo hélice marina, agitador de flujo axial, que opera con velocidad elevada y se emplea para líquidos poco viscosos. Los parámetros geométricos y el consumo de potencia para el agitador se muestran a continuación:

**Cuadro N° 12. Características del agitador del reactor.**

Parámetro	Valor
N° placas deflectoras	4
N° palas	3
Diámetro agitador, $D_a$ (mm)	360
Ancho de la placas deflectoras, $J$ (mm)	220
Altura del agitador desde el fondo del tanque, $E$ (mm)	600
Ancho del agitador, $W$ (mm)	60
Potencia necesaria de agitación, $P_{motor}$ (kW)	0,17

### Sistema de calefacción

Pese a que la reacción de saponificación es exotérmica, es necesario aportarle calor adicional para alcanzar la temperatura de operación y asegurar que se complete la reacción para obtener el producto lo más puro posible. Se ha seleccionado una camisa de calefacción en lugar de un serpentín, como en el caso de los sedimentadores, ya que el área de contacto en el primer caso es mucho mayor y nuestro objetivo es que la mezcla esté lo más homogénea posible.

**Descripción:** Camisa de termostatación, de acero inoxidable AISI-304, recubierta de espuma elastomérica aislante, por la que circula un calor saturado. Las características de este equipo se describen en el cuadro siguiente:

**Cuadro N° 13. Características de la camisa de calefacción.**

PARÁMETRO	VALOR
Temperatura del líquido a la entrada, $T_{Le}$ (°C)	35
Temperatura del líquido a la salida, $T_{Ls}$ (°C)	90
Temperatura del vapor a la entrada, $T_{Ve}$ (°C)	142,24
Temperatura del vapor a la salida, $T_{Vs}$ (°C)	137,54
Caudal de vapor a aportar, $m_v$ (kJ/h)	2138
Material	AISI-304

#### 4.3.2.2 Mezclador de disolución de KOH.

Para saponificar el aceite se seleccionó un álcali, en el caso particular de este proyecto, y fue el hidróxido potásico (potasa), ya que se quiere obtener un jabón líquido. La disolución a debe preparar tiene que contener un 25% de KOH, por lo que el 75% restante es agua. Para ello se ha provisto a la planta de un mezclador de acero inoxidable AISI-304, con agitación continua (agitador de turbina) para este propósito.

**Descripción:** Mezclador tipo tanque agitado cilíndrico, vertical, con fondo superior e inferior semielípticos 2:1, soportado por perfiles IPN, con agitador tipo turbina Rushton de 6 palas y 4 tabiques deflectores.

**Cuadro N° 14. Características del mezclador de disolución KOH.**

Diámetro interior (m)	1,04
Altura (m)	2,70
Capacidad total (m <sup>3</sup> )	2,28
Relación de esbeltez (H/D)	2,60
Espesor carcasa (mm)	2,18
Espesor fondos (mm)	2,18
Material	AISI-304

En este caso, el agitador seleccionado, es de turbina, ya que la mezcla no es tan viscosa como la mezcla reaccionante. El tipo de flujo en este caso es radial, a diferencia del agitador de hélice marina, donde es axial.

Los parámetros geométricos para el agitador de turbina del mezclador:

**Cuadro N° 15. Características del agitador del mezclador de disolución KOH.**

Parámetro	Valor
N° placas deflectoras	4
N° palas	6
Longitud de las aspas del agitador, L (mm)	90
Diámetro agitador, D <sub>a</sub> (mm)	350
Ancho de la placas deflectoras, J (mm)	90
Altura del agitador desde el fondo del tanque, E (mm)	350
Ancho del agitador, W (mm)	70
Potencia necesaria de agitación, P <sub>motor</sub> (kW)	0,05



#### 4.3.2.3 Unidad de ósmosis inversa

Para evitar reacciones secundarias de los iones disueltos en el agua común de suministro urbano y la mezcla del reactor, es necesario purificarla para reducirlos en el mayor número posible. Para ello la planta estará provista de una unidad de ósmosis inversa.

#### 4.3.3 Tanque de almacenamiento de jabón líquido

Para almacenar el producto final del proceso, se ha seleccionado un tanque cuyas características se describen a continuación:

**Descripción:** Tanque cilíndrico, vertical, cerrado, con fondo superior e inferior semielípticos 2:1, con patas y anclado al suelo.

**Cuadro N° 16. Características del tanque de jabón líquido.**

Diámetro interior (m)	1,49
Altura (m)	3,97
Capacidad total (m <sup>3</sup> )	7,84
Relación de esbeltez (H/D)	2,66
Espesor carcasa (mm)	4,69
Espesor fondos (mm)	4,69
Material	AISI-304

#### 4.3.4 Control de calidad jabón líquido obtenido

Una vez más, se necesita conocer y controlar varios parámetros físicos, químicos, y sensoriales del producto terminado, o sea el jabón líquido. Para obtener una mayor trazabilidad del proceso industrial, se ha controlado la materia prima desde su entrada a la planta como aceite (AVU), hasta su conversión en el producto final, jabón líquido. Los controles que se realizan a nivel de laboratorio, son análisis de densidad, viscosidad, pH, microbiología, color, olor, etc.

#### 4.3.5 Envasadora, etiquetadora y taponadora

Para el envasado del jabón líquido debemos elegir una máquina automática de llenado para mayor facilidad y automatización del proceso. Se instalan en línea la envasadora dosificadora, la etiquetador, taponadora y para finalizar, los operarios rellenan cajas de cartón y preparan los palés que luego pasarán al almacén de producto terminado, listos para ser expedidos.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

- El mayor consumo de aceite vegetal nuevo lo tiene en primer lugar las pollerías con 167.20 Litros por día, seguido de los chifas con 145.32 Litros por día.
- La mayor generación de Aceites Vegetales Usados (AVU), en el distrito de Piura, los generan en primer lugar las pollerías, seguido por los chifas, con 123.73 y 107.54 Litros por día respectivamente, ocupando el último lugar el rubro de otros con 12.52 Litros por día. Es así que de acuerdo a la investigación realizada sólo en el distrito de Piura se genera un total de 340.30 Litros de aceite usado por día, cantidad que representa el 74% del total consumido de aceite vegetal nuevo.
- La producción estimada de biodiesel a partir del total diario de AVU generado es de 297.06 Litros /día.
- En cuanto al reuso de los aceites, según la gráfica N° 4, existe un adecuado conocimiento por parte de la población pues la mayoría los utiliza una sola vez, esto representa un 48.9% de los establecimientos en estudio, que es aproximadamente cerca a la mitad, lo que podemos decir que tienen una adecuada educación respecto al reuso de los aceites vegetales nuevos.
- Respecto a las marcas de los aceites vegetales nuevos, el de mayor preferencia por los establecimientos de cocina es el SAO, que ocupa el primer lugar con un 27.8%, seguido por IDEAL con un 22.2% y ocupando el último lugar el PRIMOR con solo el 5.5%. Esta preferencia debido al precio más cómodo en el mercado respecto a los demás de mayor costo, como son PRIMOR, COCINERO Y CAPRI.
- El tratamiento industrial de los aceites vegetales usados, para la producción de Biodiesel y Jabón gel, son procesos rentables y de alta inversión. Sin embargo, nos trae beneficios a mediano y largo plazo, tanto económico y ambiental.

- Según el estudio económico, el costo de inversión para la producción de biodiesel a partir de los AVUS es de \$ 11650.00; mientras que para la producción de jabón gel es \$ 10048.40.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

- Hacer un estudio de factibilidad sobre la producción del biodiesel y el jabón gel para manos, lugar previsto para la planta, clima local, operación de la planta y finalmente la tecnología seleccionada.
- Tener en cuenta el tipo de aceite reciclado a usar como insumo y su composición ya que éste varía según el tipo de establecimiento del cual se recoja.
- Es muy necesario identificar los posibles riesgos durante el ciclo de vida del proyecto y para facilitar su identificación se pueden clasificar en riesgos de gestión, técnicos y comerciales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arancibia Soria, A y Calero Vacacela, T. (2011). *Obtención de Biodiesel a partir del aceite de semillas Oleaginosas de la Provincia de Chimborazo*. Memoria para optar tesis de grado previa de la obtención del título de Ingeniero en Biotecnología Ambiental. Escuela de Ciencias Químicas. Facultad de Ciencias. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba. Ecuador.
2. Binda, J., Guerra, R., & Torres, G. (2007). Análisis estratégico de la industria del Biodiesel en el Perú. Lima.
3. Ernesto Emmanuel Borrero Quintana. Universidad de Puerto Rico. (2002). Tesis. "Optimization studies for the alkaline transesterification Biodiesel reactor using ultrasound mixing".
4. Godinez Viacava, J. (2013). *Estudio de Prefactibilidad para la Implementación de una Planta de Biodiesel a base de aceites usados en Lima*. Memoria para optar el título profesional de Ingeniero Industrial. Facultad de Ciencias e Ingeniería. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima. Perú.
5. Mandolesi de Araujo, C., de Andrade, C., de Souza e Silva, E., & Dupas, F. (2013). Producción de Biodiesel a partir de aceites de cocina usados: Una reseña. Elsevier (SCOPUS), 445-452.
6. Ministerio de Energía y Minas. (s.f.). Leyes y base legal del mercado de hidrocarburos en el Perú.
7. Pedro, B. (2009). Biodiésel: Producción. En B. Pedro, Biodiésel: Producción, calidad y caracterización. Universidad de Antioquia.
8. Retena, I. (2008). "Transferencia tecnológica sobre las ventajas y desventajas del Biodiesel". San José.
9. Vicente Pardal, A. (2012). *Obtención de Biodiesel por Transesterificación de Aceites Vegetales: Nuevos Métodos de Síntesis*. Memoria para optar al grado de Doctor. Departamento de Ingeniería Química y Química Física. Facultad de Ciencias. Universidad de Extremadura. Badajoz. España.

# ANEXOS

# ANEXO N° 1

## DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA PARA LA PRODUCCIÓN DE JABÓN LÍQUIDO

